06 (47.20)
Тр 2475

# Труды Олонецкой Научной Экспедиции

## Часть 2

## География

Вып. 1.

Л-д
1930

757

06 (47.20)
Т-782

Государственный Гидрологический Институт

# ТРУДЫ
# Олонецкой Научной Экспедиции

ЧАСТЬ II

## ГЕОГРАФИЯ

Выпуск 1

Г. Ю. Верещагин. Методы морфометрической характеристики озер.

К-ФССР
Государственная Публичная
Библиотека
КАБИНЕТ
КРАЕВЕДЕНИЯ

ИЗДАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ЛЕНИНГРАД
1930

INSTITUT HYDROLOGIQUE DE RUSSIE

# TRAVAUX

## de l'Expédition Scientifique d'Olonetz

PARTIE II

GÉOGRAPHIE

Livraison 1

G. J. Wérestschagin. Les méthodes de la morphométrie des lacs.

LENINGRAD
1930

06(97.20)
Т-782

Государственный Гидрологический Институт

# ТРУДЫ
# Олонецкой Научной Экспедиции

## ЧАСТЬ II
## ГЕОГРАФИЯ

Выпуск 1

Г. Ю. Верещагин. Методы морфометрической характеристики озер.

757
К-ФСФР
Государственная Публичная
БИБЛИОТЕКА
КАБИНЕТ
КРАЕВЕДЕНИЯ

ИЗДАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ЛЕНИНГРАД
1930

инв № 57

1998

INSTITUT HYDROLOGIQUE DE RUSSIE

# TRAVAUX

## de l'Expédition Scientifique d'Olonetz

PARTIE II

GÉOGRAPHIE

---

Livraison 1

G. J. Wérestschagin. Les méthodes de la morphométrie des lacs.

---

LENINGRAD
1930

# Методы морфометрической характеристики озер.

Г. Ю. Верещагина.

## ВСТУПЛЕНИЕ.

Среди обширных материалов, собранных Олонецкой Научной Экспедицией, значительное место занимают материалы по морфологии озер; так произведена детальная топографическая съемка и измерения глубин для 16 озер, среди которых имеются столь крупные как озеро Сегозеро и оз. Сандал.

В задачу Экспедиции входило сравнительное изучение всех исследованных ею озер; эта задача отразилась на программе полевых ее работ [1]), она же встала и при обработке собранных материалов.

В вопросе о сравнительном изучении озер мы базируемся на господствующих в настоящее время в лимнологии взглядах, согласно которым это сравнительное изучение должно основываться на совокупности признаков, характеризующих природу каждого озера. Нам представляется, что морфология озер является одним из самых существенных признаков, которым может быть охарактеризована природа озера. В самом деле, она отражает на себе процессы, повлекшие образование котловины озера, она говорит нам о большем или меньшем развитии процессов, ведущих к исчезновению котловины (заиление, заболачвание); морфология весьма сильно влияет на физические и химические особенности вод озера, на обмен вод придонных с поверхностными; ею же обусловлено столь важное в целом ряде отношений развитие прибрежной области и, наконец, особенности морфологии озера отражаются на определенном составе его населения.

Морфология, несомненно, должна играть видную роль как при индивидуальной характеристике каждого из озер, так и при сравнительном их изучении.

До сих пор, однако, мы имеем всего лишь несколько работ, в которых указывается на значение отдельных морфологических величин

---

[1]) Г. Ю. Верещагин. Программы и методы Олонецкой Научной Экспедиции в 1918—1923 г.г. Труды Олонецкой Научной Экспедиции Часть I; вып. 1—2; 1924, стр. 21—60.

для характера озера в целом, и то это лишь случайно выхваченные отдельные величины из целого ряда признаков, которыми может быть охарактеризована морфология озера.

В известной классификации озер Тинеманн-Наумана использованы две морфологические величины — глубина и изрезанность береговой линии; в последнее время Lundbeck[1]) Thienemann[2]) обращают особое внимание на среднюю глубину; однако, это все лишь отрывки, и морфология озер до сих пор является свойством озер, использованным для целей сравнительных в гораздо меньшей степени, чем другие их свойства. Причина этого заключается на мой взгляд, в значительной степени в том обстоятельстве, что методы, которыми можно было бы охарактеризовать морфологию озер, еще далеко не достаточно разработаны.

Если мы располагаем картами глубин тех озер, морфологию которых мы хотим сравнивать между собою, то единственным точным методом является выражение морфологии каждого из этих озер в определенных математических величинах.

Учение о математических величинах, выражающих морфологию озер, и будет морфометрией озер.

Размер настоящей работы слишком бы возрос, если бы я изложил историю развития учения о математической характеристике морфологии озер, а потому я ограничусь по этому поводу лишь несколькими словами.

Мне известна лишь одна работа, которая специально посвящена методам морфометрии озер,—это работа Е. Маркова (26). Однако, она представляет собою лишь сводку всего того, что было предложено по этому поводу разными авторами—без достаточной даже критической оценки сделанных предложений. Все прочие авторы, касающиеся методов морфометрии, делают это лишь попутно в связи с морфометрической характеристикой определенных водоемов; таковы: Penck (33) Halbfass" (30) Ule (48) Geisbeck (14) и др.

Особое место занимают работы с геометрическим уклоном, которые посвящены методам морфометрической характеристики различных геометрических фигур. Таких работ довольно много; наиболее значительные из них: Beghaus (2) Ehrenburg (11) Peucker (35) Rohrbach (43) Drobisch (10) и др.

---

[1]) Lundbeck. l Die Bodentierwelt Norddeutscher Seen. Archiv für Hydrobiologie: Suppl; Bd. VII; 1926 г.

[2]) Thienemann, A. Der Sauerstoff im Eutrophen und oligotrophen Seen. Die Binnengewässer. Bd. IV; 1928, ст. 17—20.

[3]) Цифры в скобках после авторов указывают на №№, под которыми даны цитаты работ в списке литературы, приведенном в конце работы.

Наибольшее же количество работ, представляющих значение для изучения методов морфометрии озер, являются посвященными преимущественно вопросам морфологии суши, где попутно лишь затрагиваются методы морфометрии озер. Сюда относится классическая работа Penck'a Morphologie der Erdoberfläche (33), сюда же относятся работы Peucker (34) Philippson (37) Ritter, (41) и др. В эту же группу относятся крупные курсы физической географии подобно Supan, Мушкетова и т. д.

Наконец сюда, же примыкают работы А. А. Бобрика (3—6) и особенно его последняя крупная работа (6). К сожалению, автор не имел возможности пользоваться литературою вопроса, а потому многие из тех предложений, которые автор выдвигает как новые, уже прежде были сделаны.

Приложенный в конце работы список главнейшей литературы поможет читателю более подробно ознакомиться с развитием наших знаний о методах озерной морфометрии, но и из изложенного краткого очерка видно, что методы морфометрии озер в современном их состоянии являются сравнительно мало разработанными. До сих пор еще нет должного критического анализа, сделаннных предложений и не дано общей схемы морфометрической характеристики озера. Кроме того, благодаря различной формулировке определений некоторых величин разными авторами, при пользовании этими величинами получаются результаты, несравнимые друг с другом.

Из всего сказанного о современном состоянии методов морфометрии озер ясно, что когда при обработке материалов Олонецкой Научной Экспедиции возникла необходимость подробной их сравнительно-морфометрической характеристики, то перед нами встал вопрос о необходимости полного критического пересмотра существующих методов и выработки общей схемы морфометрических величин, расположив все величины по степеням их лимнологического значения.

Не желая выходить за рамки непосредственно стоящей перед нами задачи, мы во всем дальнейшем изложении будем говорить исключительно о морфометрии озер, хотя для нас ясно, что пересмотр морфометрических методов необходим и по отношению к другим природным объектам. Все изложенное в настоящей работе вполне может быть применено помимо озер и ко всякого рода иным замкнутым бассейнам, морям, прудам, болотам, лужам, всевозможным поемным водоемам. Кроме того, методы указанные в настоящей работе могут быть также применены, до некоторой степени, и для морфометрической характеристики островов и, даже, континентов; однако, мы вовсе не будем касаться тех некоторых особенностей применения метода к этим объектам, которые были-бы необходимы, а равно оставим без рассмот-

рения вопросы морфометрической характеристики рек. Все это завело бы нас слишком далеко от непосредственной нашей задачи выработки методов для сравнительно-морфометрической характеристики озер — вопроса, без разрешения которого мы не можем осуществить конкретно стоящей перед нами задачи сравнительно-морфометрической характеристики озер, исследованных Олонецкой Научной Экспедицией.

В дальнейшем, в случае благоприятного стечения обстоятельств, мы предполагаем применить выработанные методы для сравнительной характеристики озер, расположенных в различных ландшафтах, озер, относящихся к разным биологическим типам, находящихся на разных возрастных стадиях и т. д., и мы надеемся, что эти методы позволят наметить определенные морфологические типы озер, характеризующиеся определенным значением ряда морфометрических величин.

Несомненно, что в настоящей работе имеет место некоторая неравномерность развития отдельных частей. Кроме того, во многих случаях оставлено открытым установление тех условных степеней развития какой-либо морфологической особенности озера, которая выражается определенными величинами показателя.

Все такие случаи вызваны тем обстоятельством, что в нашем распоряжении еще нет достаточного материала для того, чтобы проверить на практике применения к озерам лимнологическое значение тех или других величин или установить условные границы в степенях выраженности какого либо свойства.

Мы не сомневаемся в том, что впоследствии, если будет накоплен большой фактический материал по разным морфометрическим величинам, многие из установленных нами методов смогут быть значительно развиты и детализированы, для других же, может быть, наоборот, окажется лишней и та детализация, которая дана в настоящей работе.

Перейдем теперь к формулировке тех условий, которым должны удовлетворять величины, служащие для сравнительно-морфометрической характеристики озер:

1) Прежде всего, эти величины должны быть так формулированы и для их вычисления должен быть дан такой метод, который исключал бы всякую возможность произвольного толкования, а благодаря этому получение несравнимых друг с другом величин. К сожалению, как мы это увидим еще ниже—в этом отношении до сих пор было крайне неблагополучно и по отношению к ряду величин, буквально, можно сказать, что ни автор, то свое определение и свой метод вычисления.

2) Величины эти должны быть характерными для природы озера; они должны иметь не только определенное геометрическое, но и лимнологическое значение. Ввиду этого, например, нет никакого

смысла использовать для морфометрической характеристики озер все величины, являющиеся математическим следствием принятые нами величины или всеми сочетаниями которые могут быть получены от комбинирования морфометрических величин при их отношениях друг с другом; конечно, это лишь в том случае, если эти следствия или сочетания не характеризуют нам какую нибудь новую сторону природы озера. Нужно всегда помнить, что перед нами не геометрическая фигура, математические отношения в которой мы отыскиваем, а озеро, свойства которого мы изучаем.

3) Все морфометрические величины должны быть выражены в таких единицах, которые допускали-бы удобное сравнение аналогичных величин, полученных для разных озер друг с другом; в частности, необходимо ряд величин о которых речь будет ниже, выражать преимущественно, в процентах.

Теперь еще несколько слов о самом ходе разработки трактуемых в настоящей работе вопросов. Самая работа велась так, что в течение примерно, половины зимнего периода 1926 — 27 года и в течение декабря и января зимы 27—28 г. определенная группа лиц, ведущая обработку материалов Олонецкой Научной Экспедиции по морфологии озер, а именно С. Г. Лепнева, Н. П. Предтеченский, Н. И. Аничкова и М. В. Ремезова — собирались довольно регулярно раз в неделю для совместного обсуждения вопросов, связанных с этою обработкою; я излагал по мере их проработки свои соображения по вопросу они оживленно обсуждались и во время этих бесед, иной раз затягивавшихся довольно долго—многое уточнялось и изменялось—формулировался окончательно ряд методов; указанным лицам я весьма благодарен за критику, которой подвергалась моя работа в самом процессе ее написания.

Настоящая работа является как-бы общей теоретической частью к работам С. Г. Лепневой, Н. И. Аничковой, Н. П. Предтеченского и М. В. Ремезовой, касающимся отдельных озер исследованных Олонецкой Научной Экспедицией. Самая работа велась указанными лицами параллельно с выработкою методов и являлась во многих случаях практической проверкой на конкретных объектах для тех или иных предлагаемых методов.

Кроме работ указанных авторов, которые должны в ближайшее время появиться в печати будет помещена моя работа с результатами сравнительной морфометрической характеристикой исследованных Экспедицией озер Олонецкого края.

---

# I. Озеро и его участки.

Я всегда стоял и стою на той точке зрения, что озеро, с одной стороны является неразрывным целым, все части которого находятся в состоянии равновесия, но с другой стороны, это целое складывается из отдельных частей, которые могут иметь значительно выраженную обособленность ряда свойств.

В связи с этою неоднородностью озера в отдельных его частях— необходимо предусмотреть возможность и с точки зрения морфометрии характеризовать не только озеро в целом, но также и отдельные его части. Части эти могут быть нами выделены в разных случаях на основании различных признаков, но есть, тем не менее, такие участки озера, которые не только по роду свойств своих вод, но и по очертаниям своих берегов носят более или менее выраженные черты обособленности— такие участки условимся называть морфологически обособленными участками озера; сюда будут относиться такие общеупотребительные понятия как бухты, заливы, плеса озера; как это ни странно, в литературе я не нашел сколько-нибудь точной формулировки того, что является бухтой, заливом или плесом озера; мне известно лишь предложение А. А. Бобрика (6), устанавливающего совокупность обособленных участков озера путем вписания в озеро наибольшого выпуклого полигона; из рис. 1, однако, совершенно очевидно, что этот метод вычисления обособленных участков не только очень искусственен, но и неверен, т. к. заливами могут оказаться части озера (в), не имеющие никаких черт обособления.

Первое с чего нам поэтому приходится начинать—это попытаться отграничить морфологически обособленные участки озера, и точно формулировать различие между понятиями: изгиб берега, бухта, залив и плесо.

Все четыре вышеуказанных образования имеют некоторую все возрастающую степень морфологической обособленности от озера. Но морфологически обособленным участком озера мы будем называть лишь образования имеющие определенную степень этой обособленности.

Морфологически обособленные участки озера характеризуются не только обособленностью морфологиие их берегов, но также, в громадном большинстве случаев, и обособленностью целого ряда как физико-химических так и биологических особенностей. Ввиду этого, хотя мы и устанавливаем в настоящее время величины, характеризующие морфологию водоема, а следовательно, должны оперировать с признаками морфологическими, однако, выделение морфологически обособленных участков имеет несомненно и общее лимнологическое значение. Морфологически обособленные участки озера характеризуются тем, что направление берегов в месте обособления меняется, образуя с обоих, а иногда лишь с одной стороны, более или менее резкие повороты в направлении, которые мы условимся называть **точками перегиба**.

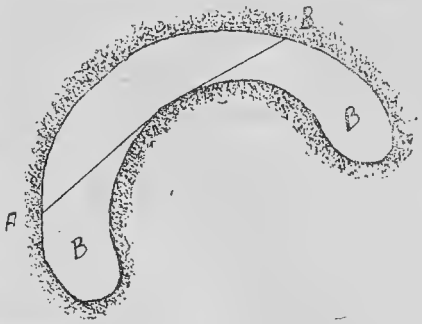

Рис. 1.

Прямую соединяющую, точки перегиба и являющуюся границей, отделяющей обособленный участок от озера — будем называть **хордой** обособленного участка. Если точка перегиба лишь одна, тогда хорда обособленного участка проводится из точки перегиба перпендикулярно к направлению берега на другой стороне обособленного участка.

Если бы мы не вводили никаких ограничений в смысле отчленения хордами отдельных участков озера, то почти каждое озеро оказалось бы состоящим почти целиком из одних обособленных участков, так как можно почти всегда найти выдающиеся пункты на противуположных берегах озера и соединив их хордой получить морфологически обособленный участок. Ввиду этого мы должны вести искусственное ограничение длины хорды. Такое ограничение мне представляется естественнее всего дать в отношении к определенным величинам, характеризующим озеро; из этих величин мы остановимся на радиусе наибольшего вписанного круга (см. ниже), как на величине, характеризующей лучше всего размер свободной поверхности данного озера. Мы условимся считать, что хорда обособленного участка не может по длине своей превосходить радиус наибольшего вписанного в озеро круга, а либо равна, либо, в большинстве случаев, меньше его.

Из этого положения, однако, не следует, что всякий участок озера, отсеченный максимальной возможной для данного озера хордой — будет уже обособленным участком. Значительная часть таких отсеченных участков окажется, как мы это увидим ниже — простыми изгибами берега; остальная же часть таких отсеченных от озера максимальными

хордами участков—может лишь в том случае быть отнесена к обособленным участкам, если налицо имеются точки перегиба.

Условившись, таким образом, о границах обособленных участков озера, нам предстоит разграничить степени этой обособленности в последовательном ряду: изгиб берега, бухта, залив, плесо.

Если радиусом равным четверти длины хорды провести ряд окружностей, имеющих свои центры на линии хорды — и извилины берега нигде не выйдут за пределы поверхности занимаемой этими кругами, то условимся считать, что мы не имеем дело с обособленными участками озера, а просто лишь с изгибами береговой линии.

В том же случае, если контур береговой линии где либо выступает за пределы поверхности занимаемой этими кругами — условимся считать, что мы имеем уже дело с обособленным участком озера (рис. 2).

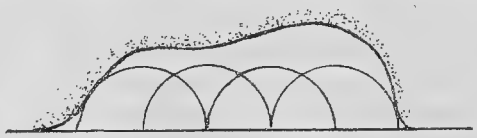

Рис. 2.

Для определения того, с каким из трех видов обособленных участков озера (бухтой, заливом или плесом) мы имеем дело, следует поступить следующим образом.

Примем хорду участка за диаметр и опишем вокруг него окружность. По отношению этой окружности к контуру берега можно различать два случая:

1) Контур берега является весь вписанным внутрь окружности.

Условимся считать, что обособленный участок, удовлетворяющий этим условиям, будет называться бухтой (рис. 3 а).

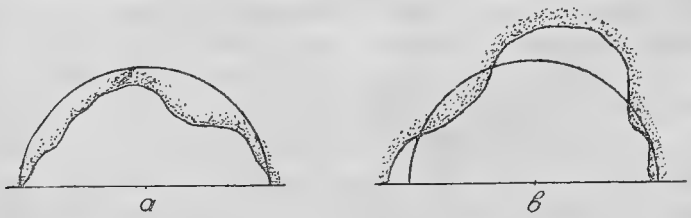


Рис. 3.

2) Контур берега выступает хотя бы частью за окружность, построенную на хорде обособленного участка как на диаметре. Условимся называть такой обособленный участок заливом (рис. 3-b).

Прежде чем пойти дальше рассмотрим вопрос об отношении размера бухт и заливов озера к размерам озера в целом.

Минимальная площадь, которую может занимать бухта—определяется масштабом карты, по которой производится изучение морфологии озера и любой обособленный участок, выраженный данным масштабом карты и подходящий под определение бухты, может быть рассматриваем как бухта, независимо от отношения его размеров к общей площади; что же касается максимальной площади, которую может занимать бухта по отношению к площади озера, то она выразится формулой:

$$\frac{\pi\left(\frac{R^b}{2}\right)}{2}$$

где $R^b$—радиус наибольшего вписанного в озеро круга.

Что касается заливов, то минимальные площади, которые они могут занимать, подобно минимальным площадям бухт,—зависят целиком от масштаба карты, по которой производится изучение морфологии озера и ни в каком отношении к размерам общей площади озера не стоят. Необходимо, однако, условиться и о некотором максимальном размере площади заливов по отношению к площади озера, так как в противном случае теряется всякий критрий между заливом и озером, часть которого он составляет.

С самим понятием залива, теснейшим образом связано представление о том, что залив занимает лишь часть площади, занимаемой озером, при чем часть меньшую, чем площадь остальной части озера. Значит, нужно лишь условиться об известном предельном отношении между площадью залива и площадью озера; и мы предлагаем в качестве такого предела считать площадь наибольшего круга, вписанного в озеро.

Площадь залива не может превосходить или даже быть равной площади наибольшего вписанного в озеро круга—она всегда меньше его.

Теперь мы перейдем к определению еще одной формы участка озера, которая часто может быть отнесена к группе обособленных участков озера, а именно к плесу.

Понятие плеса озера, в отличие от бухты и залива, отнюдь не обусловливает собою наличие какой-либо основной части озера помимо плесов. В простейшем случае озеро состоит из одного плеса; если обособленные участки этого единственного плеса достигают таких размеров, что по площади своей равны или превосходят площадь наи-

большего вписанного в озеро круга,—то мы имеем два или больше плесов, по числу таких обособленных участков. Озеро является суммой его плесов, его площадь складывается из площадей отдельных плесов.

В отличие от бухт и заливов, для плеса имеются некоторые минимальные размеры, по отношению к размерам площади озера в целом, ниже которых мы уже будем иметь дело не с плесом, а с заливом озера.

Мы предлагаем в качестве минимальной площади плеса озера по отношению к площади озера в целом, считать площадь наибольшего вписанного в озеро круга.

Тогда плесом озера мы будем называть такой обособленный участок озера, площадь которого равна или больше площади наибольшего вписанного в это озеро круга.

Указанные особенности самого понятия о плесах озера, ставят вопрос о максимальных возможных для плесов размерах их по отношению к озеру в целом в совершенно особую плоскость.

Все плеса озера могут быть разных размеров, а то из них, которое является самым большим по площади—условимся считать основным плесом озера.

До сих пор мы говорили об обособленных участках озера, независимо от их подчинения друг другу, но несомненно, что бухты, заливы и плеса могут быть первого, второго и т. д. порядка, т. е., что в каждом плесе озера могут существовать свои плеса, в них еще плесы и т. д.; то же и с заливами и бухтами, при чем в каждом плесе можно выделить ряд заливов, а в каждом заливе ряд бухт.

Если мы возьмем основное плесо озера и отделим от него все обособленные участки—плеса, заливы и бухты—первого порядка, то оставшуюся, за вычетом всех этих участков, площадь озера, мы будем называть остовом озера.

Мы, в отличие от А. Бобрика (6), не ставим условием, чтобы остов озера представлял собою полигон, да еще выпуклый; мы считаем, что на всех тех участках берега, где не выделяются при данном взятом масштабе бухты и заливы—остов ограничивается просто изгибами береговой линии, но самое понятие о площади озера, без площади его обособленных участков, мы считаем полезным для характеристики озера.

Помимо морфологически обособленных участков озера мы можем найти черты обособления отдельных характерных участков озера в ряде других отношений, при чем это может быть в случаях, когда эти участки и не обособленны морфологически; так обособленны физико-химически и биологически могут быть отдельные вытянутые участки озера (рис. 4), отдельные участки, характеризующиеся

определенными особенностями рельефа дна, влиянием притоков и т. д. отделение этих характерных участков озера друг от друга и от озера должно быть однако, в таких случаях произведено по месту границы, на которой эти черты обособления сказываются.

В дальнейшее рассмотрение этих характерных участков озера мы здесь входить не будем.

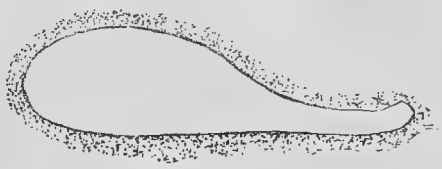

Рис. 4.

Помимо выделения обособленных и характерных участков, озеро может быть расчленено в горизонтальном направлении на отдельные участки, которые будут характеризоваться определенным положением по отношению либо к берегам, либо к „центру“ озера. Такие участки будем называть „зонами“. Эти зоны удобны для морфометрической характеристики горизонтального распределения морфологических особенностей озера.

1) Изотелические зоны — термин, предложенный Rohrbach'ом (43), под которым разумеются зоны, заключающиеся между линиями, проходящими по поверхности озера, через одинаковые расстояния от берега; такие линии или изотелы могут быть проведены через любые промежутки друг от друга в зависимости от потребностей, но нам представляется желательным проводить их по озеру для удобства сравнения всегда в одинаковом числе—и мы предлагаем установить таким числом—9, чтобы мы в любом озере различали 10 изотелических зон, линейная ширина которых, конечно, будет различна.

Самое проведение изотел делается таким образом: из центра наибольшого вписанного в озеро круга (ядра) (см. ниже), который

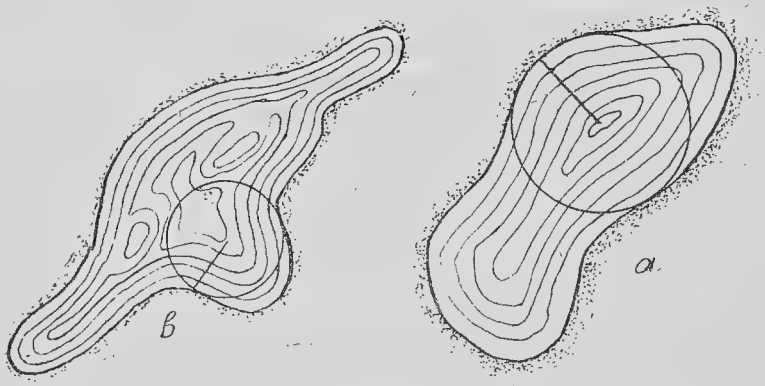


Рис. 5.

является в то же время точкой, наиболее далеко отстоящей от берегов озера, проводят радиус к точке, в которой он касается берега и деля его на 10 частей на расстоянии, равном каждой из этих частей проводят линии, проходящие на этом расстоянии от берега (рис. 5-й).

Если на озере есть острова, то изотелы можно провести двояким образом, в зависимости от задач морфометрической характеристики: если имеется ввиду охарактеризовать лишь очертание озера в целом—проводятся изотелы не принимая во внимание островов; если же, что обычно и бывает имеется ввиду охарактеризовать изотелическими зонами массу воды озера—то наибольший вписаннный круг проводится по свободной от островов поверхности озера, изотелы проводятся тогда огибая все острова, благодаря чему изотелы приобретают сложную форму и нередко состоят из нескольких систем (см. рис. 5-в); тем не менее, только таким образом проведенные изотелы можно сравнивать с изобатами, о чем см. ниже.

Для решения всех вопросов так называемого кольцевого распределения факторов—морфометрическая характеристика изотелических зон является весьма существенной.

2) Изоцентрические зоны—это будут зоны, которые расположены на равном расстоянии от какой-либо одной точки, принимаемой за центр озера. Зоны эти являются важными для характеристики распределения площади поверхности озера в горизонтальном направлении (см. ниже).

Некоторые намеки на эти зоны есть у Ehrenburg'a (11), при чем он полагает, что в качестве „центра" можно взять либо центр наибольшего вписанного, либо центр наибольшего описанного круга (см. ниже). Нам кажется, однако, что принимая за центр—центр вписанного круга, мы будем иметь при небольших изменениях в очертании водоема—очень сильное перемещение в положении этого центра, что отзовется и на всех величинах, характеризующих изоцентрические зоны, как резкий скачек в значении величин, которому не будет соответствовать никакого скачка в морфологии озера; что это так—видно из рис. 6; таким образом, гораздо правильнее за такой центр избрать центр наименьшего описанного вокруг озера круга или района (см. ниже). Разделив радиус этого круга на определенное число равных частей, при чем желательно, чтобы и это число частей было бы одним и тем же для всех случаев, напр., 9 надо провести через каждую часть радиуса окружность. Получим ряд концентрических окружностей, которых общим центром будет центр района озера. Участки, находящиеся между соседними окружностями на поверхности озера и будут изоцентрическими зонами озера.

Неоднородность свойств озера не в меньшей степени, чем в направлении горизонтальном, отражена и в вертикальном направлении, почему является необходимость его расчленения на определенные глубинные участки или глубинные зоны.

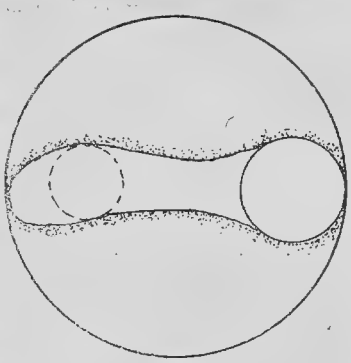

Рис. 6.

Однако, здесь гораздо труднее найти те объективные критерии, на основании которых озеро могло бы быть разделено на сравнимые между собою участки.

В озерах, в которых существует так называемый термический скачек—каждое озеро может быть разделено в вертикальном направлении на три участка: 1) эпилиминон—которым называется масса воды, находящаяся над слоем скачка, 2) гиполиминон т. е. масса воды находящаяся под слоем скачка и 3) металиминон, т. е. масса воды, в которой находится слой температурного скачка. Каждый из этих участков может быть охарактеризован морфометрически как отдельный водоем.

Ввиду того, однако, что такое деление, во-первых, приложимо лишь для озер, где температурный скачек выражен, во-вторых, что самая глубина, на которой этот скачек находится меняется во времени и, наконец, в-третьих, ввиду того, что этими тремя участками не исчерпывается потребность в вертикальном расчленении озера—мы считаем более правильным принять за основные участки вертикального расчленения, которое может быть произведено в озере, глубинные участки, ограниченные изобатными плоскостями, проходящими параллельно поверхности озера через произвольные, но равные расстояния по вертикали.

Характеризуя рядом морфометрических величин каждый из этих участков—легко получить морфометрическую характеристику эпи, мета и гиполиминона для любого положения слоя скачка по вертикали; это так лишь в том предположении, что границы эпи, мета и гиполиминона идут параллельно поверхности, как это обычно принимается в лимнологии, но несомненно является неправильным [1]). Эти вопросы, однако, требуют специального рассмотрения, которое не входит в настоящее время в нашу задачу. Полученными данными для отдельных глубинных

[1]) См. Г. Верещагин, Аничкова, Предтеченский, Толмачев и Форш. Опыт гидрологической съемки озера Ласси-Лампи, Ленинградского уезда, Токсовской волости. Юбилейный Сборник в честь Н. М. Книповича. Лгр. 1927, стр. 169—192.

зон могут быть легко охарактеризованы и любые иные зоны, связанные с рельефом дна, характером отложений и проч.

Для целей сравнимости материалов, полученных для разных озер совершенно необходимым является условиться о тех глубинах, через которые будут проведены сечения озера, отделяющие один его вертикальный участок от другого, т. е. те глубины, через которые проводятся изобаты в озере.

В зависимости от глубины озера и числа промеров для него имеющихся, глубины эти могут быть различны, но чрезвычайно важно для целей сравнения, чтобы величины их были кратными между собою. Так, если мы условимся, что изобаты проводятся через каждые 2 метра глубины, то в случае более редкого проведения изобат, чтобы эти величины были кратными двум, т. е. 4, 6, 8 и т. д., то-есть четными цифрами. Совершенно необходимо, чтобы глубины были выражены в десятичных мерах, т. е.—в метрах.

Рассмотрев вопрос о расчленении озера на участки в горизонтальном и вертикальном направлении мы лишь расчистили путь к тому, чтобы перейти к вопросам методики морфометрической характеристики; мы этим лишь указали, что все дальнейшие приемы и методы морфометрической характеристики могут применяться не только к озеру в целом, но также в пределах одного озера к отдельным его участкам.

## II. Способы морфометрической характеристики озера.

Всякое числовое выражение, характеризующее морфологию водоема, условимся называть морфометрической величиной. Величины эти мы можем разбить по их характеру на следующие три категории.

1) Величины абсолютные, которые получаются в результате непосредственных измерений при изучении морфологии озера или непосредственно по карте или путем вычисления; эти абсолютные величины выражаются определенным числом единиц линейных, площадных или объемных.

2) Величины, выражающие отношения абсолютных величин друг к другу.

Этими отношениями характеризуются преимущественно очертания поверхности озера и объема его водных масс.

3) Величины, выражающие ориентировку некоторых абсолютных величин в пространстве.

Эти величины относятся к характеристике абсолютных единиц, характеризующих протяжение озера и выраженных как прямыми, ломаными, так и кривыми линиями, при чем последние заменяются характеризующими их прямыми или ломанными линиями.

Они выражаются в линейных единицах протяжения каждой данной величины в определенном направлении по странам света.

4) Величины, выражающие отношения конкретных значений абсолютных величин или их отношений друг к другу к значениям тех же величин или их отношений, принимаемым за нормальные для данного озера.

Иначе эту группу величин можно назвать величинами степени развития той или другой абсолютной морфометрической величины, характеризующей водоем в целом или его участок.

Эти отношения являются лучшим способом характеризовать индивидуальные особенности морфологии каждого отдельного озера, а также сравнить эти особенности друг с другом в разных озерах. Этими отношениями мы устанавливаем уклонение величин, характеризующих определенные особенности озер от их нормальных или идеальных значений и притом уклонения как в сторону дефицитного, так и избыточного значения.

Для получения величин „развития" необходимо, прежде всего, установить какого рода величины мы будем считать для каждого данного озера нормальными, простейшими или идеальными.

Нормальные величины должны, с нашей точки зрения, удовлетворять требованиям, с одной стороны, геометрическим, а с другой—лимнологическим.

757

a) Геометрические требования, предъявляемые к нормальным морфометрическим величинам состоят в том, что они должны обладать наибольшей допустимой геометрической простотой; говорим допустимой, а не теоретически возможной потому, что степень простоты может быть ограничена требованиями лимнологическими.

Такие простейшие морфометрические величины характеризуют и простейшие по своей морфологии водоемы, из чего следует, что требование геометрическое по отношению к нормальным в морфометрическом отношении озерам состоят также в том, что они должны иметь простейшие допустимые протяжения, простейшие допустимые очертания поверхности и простейшее допустимое очертание объема водных масс.

b) Лимнологические требования, предъявляемые к нормальным морфометрическим величинам, состоят в том, что нормальные морфологически озера должны не только существовать в природе, но быть результатом определенных физико-географических процессов, равномерно действующих на всем протяжении водных масс озера. Нормальная морфология озера, с лимнологической точки зрения, должна быть в то же время конечным звеном в процессе эволюции морфологии озера в простейшем случае этой эволюции.

К-ФССР
Государственная Публичная
БИБЛИОТЕКА
КАБИНЕТ
КРАЕВЕДЕНИЯ

Подходя с обеих указанных точек зрения к выяснению нормальных морфометрических величин, мы должны отдельно рассмотреть этот вопрос для величин, характеризующих протяжение, поверхность и водную массу озера.

Для величин, характеризующих протяжение озера — такими нормальными величинами будет протяжение прямых линий; это положение вследствие своей очевидности доказательств не требует. С длиною прямых линий, соединяющих концы линий изогнутых или ломаных мы и будем сравнивать длину этих изогнутых или ломаных линий, характеризующих некоторые величины протяжения озера для получения степени их развития.

Для замкнутых линий, характеризующих протяжение озера, как, напр., длина береговой линии, изобаты и т. д. нормальной формой будет окружность круга, имеющего площадь, равную площади замыкаемой данной замкнутой линией.

Для величин, характеризующих очертание поверхности озера выбор нормального очертания сложнее.

С точки зрения геометрической, простейшее очертание поверхности будет круг, обладающий целым рядом характерных для этой фигуры свойств, подробно разобранных Ehrenburg'ом (11).

Посмотрим теперь, каковы с точки зрения лимнологической простейшие очертания водоема. Мы знаем, что, как сложно не было бы очертание водоема, мы встречаемся с неуклонным процессом размывания всех выступов берега, мысов и заполнением и сокращением заливов; по выражению Penck'a (32). „Es zeigen alle grossen Binnenseen eine entschiedene Tendenz der Zurundung und Vereinfachung ihrer Uferlinien“.

Несомненно, что есть озера, которые никогда не превратятся в круг благодаря их своеобразной вытянутой форме и характерному рельефу дна; однако, если мы обратимся к процессам образования озерных ванн, то должны сказать, что ванны тем более уклоняются от круглой формы, чем более неравномерно распределялись в пространстве силы, повлекшие за собой их образование.

Сбросы, трещины, провалы, движения ледников, потоки — вот причины, повлекшие образование характерных вытянутых озер. Все это причины, действовавшие на пространстве будущего озера в определенном направлении, очень неравномерно в случаях, когда причины, повлекшие образование котловины озера распределены равномерно в пространсте (равномерное опускание местности, провалы, извержения и т. п.) исходное очертание озера бывает также круглым; если процессы выравнивания очертаний берегов озера протекают очень интенсивно и опять таки с равной относительной интенсивностью распре-

деляются по всем частям озера — мы имеем появление круглых очертаний озера до некоторой степени независимо от его первоначальных очертаний, (заболачивание озера, быстрое усыхание озера и т. п.). И лишь в тех случаях, когда процессы, повлекшие образование котловины были крайне неравномерно распределены в пространстве или процессы упрощения форм береговой линии действуют также неравномерно в разных частях озера (доминирующие ветра, течения и т. д.) мы имеем случаи, когда круглая форма данного водоема никогда не будет осуществлена.

Если считать теперь, что равномерное распределение сил в пространстве является наиболее простым, и что равномерное распределение процессов упрощения береговой линии в разных частях озера является также наиболее простым случаем распределения сил,—то и связанное с этим простым случаем круглое очертание озера—есть наиболее простое, идеальное очертание и с лимнологической точки зрения.

Всякое уклонение от этого очертания есть результат неравномерного распределения сил в пространстве, будь то при образовании самой котловины, или в последующий период жизни водоема.

Это заключение для наших морфологических задач чрезвычайно важно, так как устанавливает то очертание озера, которое является наиболее простым, идеальным, нормальным; а имея эту форму, притом математически очень хорошо характеризующуюся, мы можем всякое данное очертание озера рассматривать с точки зрения его отношения к нормальному очертанию, т. е. кругу.

Переходя к очертанию водных масс озера или форме озерного ложа—мы должны указать, что в качестве нормальной простейшей формы, которую может иметь очертание водных масс озера А. А. Бобрик (6) предлагает считать шар. С объемом такого шара, который обладает поверхностью равной сумме площади поверхности озера и площади поверхности дна озера — можно сравнивать объем озера, как с нормальным его объемом.

Если шар удовлетворяет геометрическим требованиям самого простого очертания водных масс, притом его поверхность будет при всех прочих равных условиях наименьшая — то посмотрим является-ли шар удовлетворяющим и требованиям лимнологического порядка, которые можно предъявить к нормальной форме очертания водных масс озера. Нам представляется, что с лимнологической точки зрения шар этим требованиям не удовлетворяет.

Прежде всего потому, что масса воды всякого озера со стороны, обращенной к воздуху, ограничена плоскостью, при чем в громадном большинстве случаев, существующих о природе, размер этой плоскости

очень немногим меньше половины всей площади поверхности водных масс озера.

Благодаря этому требованию шар не может быть формой, которую можно принять за нормальную для водоема [1]), а эта нормальная форма должна иметь одну из своих поверхностей в виде плоскости, при чем плоскость эта по размерам своим должна быть равна площади поверхности рассматриваемого озера. Если в качестве заданной величины мы имеем площадь озера, то для характеристики очертания водных масс является очень важной еще одна величина — наибольшее расстояние дна от поверхности озера, т. е. наибольшая глубина озера. Если мы для каждого озера имеем эти две заданных величины — площадь поверхности и наибольшую глубину, то возможно представить себе целый ряд правильных тел, которые могут быть построены таким образом, что они будут иметь одну из ограничивающих их плоскостей равной площади озера, а наибольшая глубина будет одним из характерных измерений этого тела.

Необходимо лишь выяснить поскольку эти очертания водных масс будут удовлетворять требованиям геометрическим и лимнологическим для нормальных величин, о которых мы говорили выше.

Рассмотрим с этих точек зрения возможные очертания водных масс.

Тут могут быть:

1) Вписанные и описанные в водную массу озера многогранники, одна из плоскостей которых совпадает с площадью озера. Эти тела не удовлетворяют ни требованиям геометрической простоты, ни связи их с естественными обусловленными природою озера факторами, а потому не приемлемы.

2) Сегмент шара—имеющий высотою наибольшую глубину озера, а основанием—площадь, равновеликую площади озера. Эта форма вполне удовлетворяет требованиям геометрическим, но с точки зрения лимнологической — это форма, которая в природе, повидимому, никогда не образуется, т. к. так называемый—„блюдечкообразный“ рельеф, наблюдающийся в исчезающих старых озерах—отнюдь не является сегментом шара: возле берегов этих озер дно, сравнительно, круто опускается, а в середине озера—оно часто совершенно ровно. Повидимому, та характерная форма озерной котловины, которая называется „блюдечкообразной“ еще не подверглась математическому изучению, а потому мы не в состоянии указать на степень ее отличия от сегмента шара.

---

[1]) На этом же основании отпадают в качестве форм, с которыми можно сравнивать как с нормальными величинами водную массу озер вписанные и описанные вокруг водной массы озера шары.

3) Цилиндр, имеющий высотою наибольшую глубину озера, а основанием — площадь, равновеликую площади озера. Эта форма удовлетворяет геометрическим требованиям и является обладающей при данной площади и максимальной глубине озера, наибольшим возможным объемом. С точки зрения лимнологической—цилиндрическую форму озерного ложа нужно рассматривать как исходную, стоящую не в конце, а в самом начале развития форм озерного ложа, связанного с его возрастом. Такие формы озерного ложа могут образоваться в природных условиях лишь при провалах, и то в исключительных случаях, когда нет осыпей.

4) Конус, имеющий высотою наибольшую глубину озера, а основанием—площадь круга, равновеликого площади озера.

Эта форма удовлетворяет требованиям геометрическим—она обладает при данной площади и наибольшей глубине—наименьшей из всех возможных площадью поверхности. С точки зрения лимнологической это форма, которая образовалась бы в случае, если бы склоны озерной котловины равномерно осыпались.

В природе, однако, на ряду с процессами осыпания действуют процессы размывания, а, кроме того, иловые массы при своем распределении по дну озера следуют тем же законностям, что сыпучие тела. Несмотря на это, форма конуса, являющаяся результатом определенных естественных процессов вполне мыслима в природе.

В результате, мы видим, что три из рассматриваемых нами форм рельефа озерного ложа (сегмент шара, цилиндр и конус) отвечают вполне требованиям геометрическим, но все три лишь отчасти удовлетворяют требованиям лимнологическим для того, чтобы условиться считать их нормальными формами озерного ложа.

Идеальной формой, повидимому, была бы форма озерного ложа при „блюдечкообразном“ рельефе дна, но пока таковой не изучен геометрически, нам необходимо остановиться на одном из трех вышеуказанных тел: сегменте шара, цилиндре или конусе.

Мы предлагаем остановиться на форме конуса, и по следующим соображениям:

a) эта форма может образоваться в природе в некоторых случаях, при определенном характере грунта в защищенных от ветра озерах с крутыми склонами озерного ложа;

b) по объему и площади поверхности эта форма близко подходит к идеальной форме „блюдечка“;

c) геометрически эта форма характеризуется предельной величиной площади поверхности в смысле наименьшего возможного его значения при данной площади и максимальной глубине.

Таким образом, мы предлагаем считать нормальным при данной площади и максимальной глубине озера — ту форму озерного ложа,

которую имеет конус с основанием, равным кругу, равновеликому площади озера и высотою, равной максимальной глубине озера. Такой конус мы в дальнейшем будем называть — основным конусом озера.

---

Перед тем как переходить к описанию отдельных морфометрических величин, следует еще сделать одну очень важную оговорку: морфология водоема может быть охарактеризована определенным комплексом морфометрических величин, которые будут, однако, выражать собою морфологию водоема, относящуюся к определенному моменту времени. В другое время величины эти могут иметь уже другое абсолютное значение. Зависит это, прежде всего, от того, что уровень озера подвержен сезонным колебаниям и в связи с этим все морфометрические величины, вернее карты, по которым производится их вычисление, должны быть отнесены к определенному положению уровня.

В наши задачи сейчас не входит рассмотрение зависимостей между измерением положения уровня озера и морфометрическими величинами, характеризующими озеро и мы ограничимся здесь лишь указанием на значение этого вопроса.

Далее, морфология озер меняется непрерывно благодаря целому ряду факторов, и мы можем говорить об эволюци в морфологии водоема, но и этого вопроса мы касаться в настоящей работе не будем и рассматриваем лишь методы, позволяющие фиксировать морфологию водоема в каждый определенный момент времени.

## III. Морфометрические величины.

Переходя к определению и описанию конкретных морфометрических величин, которыми может быть охарактеризована морфология как озера в целом, так и отдельных его участков, мы полагаем, что самое изложение удобнее будет вести разбив все величины на следующие три группы:

1) Величины, характеризующие протяжение озера, как с количественной, так и с качественной стороны;

2) величины, характеризующие поверхность озера — опять-таки с количественной и качественной стороны — количественная характеристика выражается в величинах площади озера, а качественная — характеризует очертания поверхности озера;

3) величины, характеризующие водную массу озера — снова с количественной и качественной стороны: количественные величины

будут характеризовать объем и площадь дна озера, а качественные величины—очертания этого объема и рельеф дна.

Переходя сейчас к изложению методов морфометрической характеристики озер по отдельным основным группам этих величин—я должен заметить, что при этом изложении я сперва буду говорить о морфометрических величинах, характеризующих озеро в целом, а затем о тех особенностях методов, которые будут иметься в случае их применения по отношению к отдельным участкам озера.

## А. Морфотетрические величины, характеризующие протяжение озер.

Мы будем различать среди величин этой группы следующие категории, которые были обоснованы уже выше: 1) величины абсолютные, 3) величины ориентировки в пространстве и 3) величины развития.

### I. Величины абсолютные.

Абсолютные величины, которыми характеризуются величины протяжения озера выражаются в линейных единицах.

#### а) Озеро в целом.

Перейдем к непосредственной характеристике отдельных величин.

(1) Большая ось озера. Понятие это, предложенное уже давно, в литературе понимается довольно согласно и лишь некоторые отождествляют эту величину с длиною озера, с чем мы, однако, не можем согласиться по причинам, указанным ниже.

Мы будем разуметь под большою осью озера — наибольшее протяжение его на карте, измеренное по прямой линии или прямую, соединяющую две наиболее удаленные друг от друга точки контура озера.

Эта линия может быть проведена как по поверхности озера, так и пересекая выступы берега. Большая ось не всегда равна диаметру описанного вокруг контура водоема круга (см. ниже); иногда, однако, она ему равна, но никогда не может быть больше его.

Если можно провести в озере две или несколько наибольших линий протяжения, равных друг другу, то за большую ось следует принять ту из них, которой соответствует наибольшая малая ось. Если же и таких осей окажется несколько и они будут иметь мало отличающиеся направления, при чем перемененным будет лишь один из концов, то большою осью следует считать ту, которая имеет направление среднее между двумя крайними направлениями.

(2) Малая ось озера. Величина эта введена в морфометрию одновременно с большою осью и иногда неправильно, с нашей точки зрения, отождествляется с шириной озера.

Мы будем под малой осью озера разуметь наибольшее протяжение контура озера в направлении перпендикулярном большой оси; иначе говоря, это будет линия перпендикулярная большой оси озера и соединяющая две касательные к контурам озера, проведенные в направлении параллельном большой оси. Последнее описательное определение дает и метод построения этой величины.

(3) Длина озера. Нельзя найти автора, предложившего первым эту величину для морфометрической характеристики озера, так как это основная величина, которой характеризуется водоем в общежитии. И несмотря на общераспространенность характеристики озера его длиной и шириной—нет, пожалуй, других величин, которые так трудно поддавались бы точному определению, как именно они. Тут же замечу, что во всем последующем рассуждении мы будем иметь дело исключительно с приложениями понятий длины и ширины к форме сложных фигур, которые представляют собою замкнутые водоемы и потому мы оставляем без рассмотрения понятия о длине и ширине в других их применениях.

Прежде чем переходить к разбору отдельных определений, мы должны установить, что длина может быть одна; нельзя говорить о длине „наибольшей", когда нет никакой противуположной, как это делают некоторые авторы. [1]) Понятие же „истинная длина"—введенное Форелем (13) имеет целью лишь отметить два определения длины, даваемых автором.

Среди разнообразных определений, мы можем констатировать, что ряд авторов: Форель (13) Penck (33) и Шокальский (47a) дают одновременно два определения длины; мы не можем согласиться с таким двойным определением, каково бы оно не было, т. к. оно предоставляет каждому исследованию определять длину озера одним из двух способов, т. е. в результате получаются несравнимые величины.

Что же касается собственно определений, то все они делятся на следующие группы:

а) длина отождествляется с большою осью озера. Сюда относятся одно из определений Фореля, Penck'a, Шокальского, а также определение Halbfass'a (20).

---

[1]) Берг. Аральское море. Изв. Турк. Отд. И. Р. Г. О-ва Т. V. 1908 г. стр. 119.

Такое отождествление, однако, нами не считается правильным ввиду того, что оно противоречит естественному, основанному на здравом смысле представлению об этой величине; например водоем, имеющий форму спирали окажется имеющим одну и ту же длину, что и водоем круглый (рис. 7 a и b).

Согласно этому последнему представлению линия длины не может проходить по суше, а только по поверхности воды. Это понятие, если так можно выразиться, примитивнее, чем понятие о большой оси, которым характеризуется протяжением озера на карте, его географическое протяжение, тогда как с длиною всегда связано представление о времени, которое нужно употребить для того, чтобы проехать по озеру от одного его „конца“ до другого.

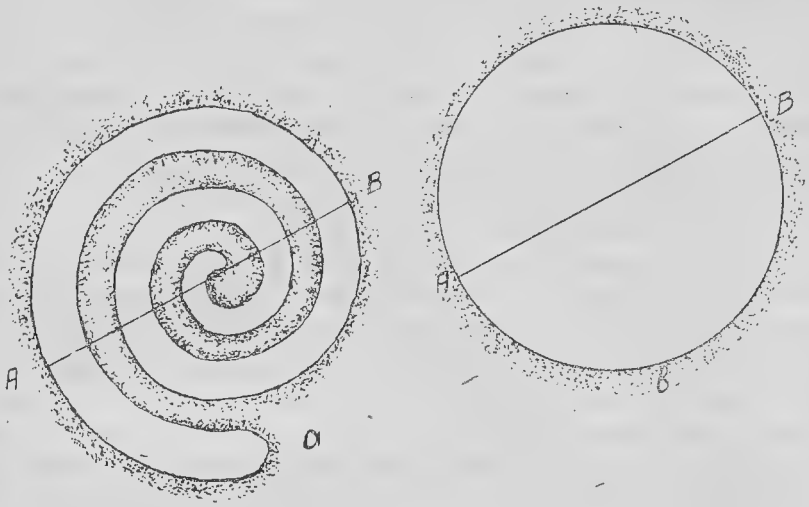


Рис. 7 a и b.

в) Длина отождествляется с медианою озера. К этому определению примыкают: второе определение Фореля, Penck'a и определение данное в Программах предварительного исследования озера, Озерной Комиссией Гос. Русск. Географ. Общества [1]). К нему же примыкают и определения Ю. М. Шокальского и А. А. Бобрика, однако, с некоторыми ограничениями; так Ю. М. Шокальский, в своем определении длины озера связывает его с понятием об „общей оси всей системы изобат озера“. Нам кажется, однако, что вряд-ли желательно связывать понятие о длине,

[1]) Известия Рус. Географ. О-ва, т. 53; 1917 г. стр. 225.

с данными о рельефе дна озера т. к. эти последние данные относятся к совсем другой группе величин, а длину озера мы можем определять даже ничего не зная о глубинах озера, да наконец, длина есть понятие общее для всевозможных замкнутых фигур, вообще никакой глубины не имеющих.

А. А. Бобрик (6) выставляет другое требование для линии длины это то, что концы ее должны совпадать с концами большой оси озера; однако, это требование совершенно искусственное и с точки зрения длины озера, как медианы просто неправильно, что явствует, хотя бы из формы озера, данной на рисунке 7а, где концы большой оси и медианы совпадать никак не могут.

Мы не можем считать, однако, что простое отождествление понятия длины озера с его медианой—решает весь вопрос о длине. Если в простых случаях, действительно, медиана совпадает с длиною, то в случаях сложного контура, когда медиана является сильно извилистой линией,—ее отождествление с линией длины является совершенно искусственным и противоречит интуитивному представлению о длине, как кратчайшем расстоянии между двумя точками.

Нам представляется, что линия длины озера должна удовлетворять следующим двум условиям:

а) линия длины является кратчайшим расстоянием между двумя наиболее удаленными точками его берегов—это условие формулированное еще Форелем и затем повторенное многократно в литературе является, повидимому, общепризнанным свойством длины озера.

b) линия длины проходит по поверхности озера. Это справедливо выставляемое Halbfass'ом (20) и Марковым (26) условие, по которому длина озера есть по здравому смыслу, расстояние, которое можно проехать на лодке также входит в формулировку всех определений отождествляющих длину с медианой.

Линия длины может быть прямой или кривой линией—это понятно само собою, но что касается до представления о линии длины, как о ломаной линии, которое имеется в некоторых определениях, то мы считали бы неправильным сохранение этой формы линии длины как обязательной во всех случаях, так как когда она не прямая—она дает место произвольному ее проведению, зависящему от числа изломов линии.

Ни длина, приравненная к большой оси, ни длина, отождествленная с медианой озера, не удовлетворяют обоим из указанных требованиям, т. к. первая может не проходить по поверхности озера, а вторая не всегда является кратчайшим расстоянием; между тем, во всяком озере можно построить линию, которая будет удовлетворять обоим условиям—это будет кратчайшее расстояние между двумя

наиболее удаленными друг от друга точками его береговой линии, считая по поверхности водоема. Эта линия и будет длиною водоема. Эта длина — a) одновременно удовлетворяет основным требованиям обоих определений Фореля, b) совпадает с представлением о длине водоема, основанном на здравом смысле, c) устраняет всякую возможность произвольного толкования и d) проста для построения.

Таким образом, линия длины в простейших случаях—прямая линия. При сложных контурах озера—это отрезки прямых линий, соединяющиеся отрезками кривых, — касательных к главным выступам берега.

Несколько схематических рисунков, изображающих положение линии длины в более сложных случаях достаточно, чтобы сделать понятным особенности проведения линии длины (см. рис. 8 а и в).

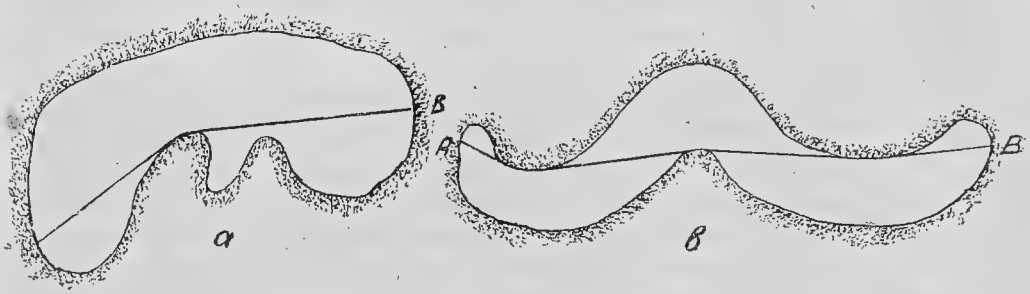


Рис. 8.

В случае наличия островов—линия длины озера проводится не обращая на них внимания, т. к. наличие островов не меняет очертаний замкнутой фигуры контуров озера, а относится к распределению площади водной поверхности.

(4) Ширина озера. Это понятие принадлежит к не менее запутанным и трудным для точной формулировки, чем длина озера.

Ширина различается в литературе: максимальная, средняя и минимальная, при чем наибольшие затруднения существуют в определении наибольшей ширины. Большинство авторов: Форель, (13) Бобрик (6) определяют максимальную ширину, как наибольшее расстояние между береговыми пунктами, измеренное перпендикулярно к большой оси. Нетрудно, однако, из рис. 9 показать, что это определение совершенно искусственно и в случае, изображенном на рисунке водоема с параллельными берегами, где максимальная ширина, по здравому смыслу, должна быть равна средней ширине,—оказывается, что максимальная ширина—ab.—сильно отличается от средней и является про-

веденной в направлении которое никто не решится дать для этой величины.

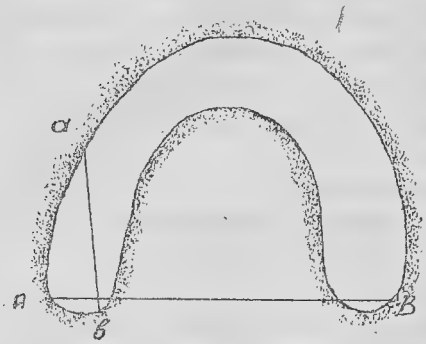


Рис. 9.

Лишь у Penck'a (33) я нашел определение максимальной ширины, связанное с понятием о медиане. Это наибольший из перпендикуляров, восстановленных к медиане озера.

Наконец, в Программе предварительного исследования озера[1]) понятие о наибольшей ширине в общем, дается согласно Penck'y, но с тем различием, что предполагается, что самая линия ширины может быть не только прямой, но и ломаной.

Перед тем, как перейти к дальнейшим заключениям нам необходимо решить следующие вопросы:

a) Является ли понятие ширины самостоятельным? Нам представляется, что это понятие теснейшим образом связано с понятием длины, а потому как в самом определении ее, так и способах проведения линий длины естественно должно быть отражено это отношение. Отсюда следует, что линия ширины озера должна быть определенным образом ориентирована по отношению к линии его длины, а именно—линия ширины должна быть перпендикулярна к линии длины.

b) Должна ли линия максимальной ширины быть прямой? То-есть, иначе говоря, может ли эта линия быть ломаной или кривой. Хотя по аналогии с линией длины, которая может быть и кривой,—нам можно, казалось бы, было признать эту возможность и для линии максимальной ширины, однако, принимая во внимание, что ширина должна быть определенным образом ориентирована по отношению к длине,—и что ориентация может быть осуществлена лишь прямой линией—мы должны ответить на этот вопрос утвердительно: линия ширины должна быть прямой.

Мы определяем наибольшую ширину озера, как наибольшее расстояние между противоположными берегами озера в направлении перпендикулярном линии длины озера.

Давая такое определение максимальной ширины озера, мы прекрасно сознаем всю его искусственность, и полагаем, что эта величина является в силу этого мало характерной для озера в целом.

---

[1]) Op. cit. стр. 226.

Далее, мы знаем, что указанным нами способом проведения линии длины, данное нами определение максимальной ширины, страдает, правда, в гораздо меньшей степени, тем самым дефектом, который был нами указан для метода определения максимальной ширины перпендикулярами к большой оси.

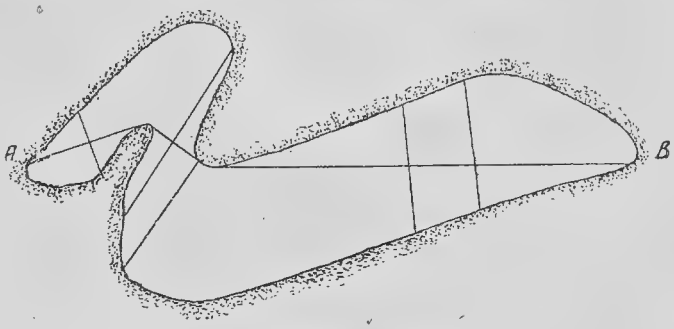


Рис. 10.

В самом деле, в случае существования водоема с параллельными берегами и формы, указанной на рис. 10-ом линии длины будут иметь направление А. В., а перпендикуляры к ней будут иметь разную длину т. е. максимальная ширина окажется больше средней, чего не должно было быть при параллельных берегах.

Если, тем не менее, мы останавливаемся на указанном выше определении максимальной ширины, то это потому, что все нами испробованные определения оказывались еще менее удачными.

Что касается средней ширины водоема, то в отношении ее не существует различия во взглядах в литературе. Она всеми определяется, как отношение площади озера к его длине. Строго говоря, при исчислении средней ширины озера, должны бы были быть откинуты те участки площади его, куда не заходят перпендикуляры к линии длины озера, т. е. которые не захватываются при измерении ширины озера; это ясно из рис. 11.

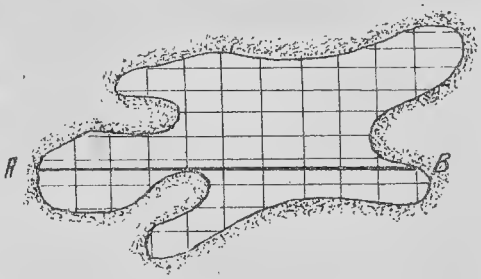


Рис. 11.

Однако, мы не станем уточнять эти вычисления и согласимся определять эту величину так, как это делают все.

(5) Линии протяжения озера. Эти, повидимому, еще не употреблявшиеся в морфометрии озер величины, мне представляется желательным

ввести для характеристики наибольшего и среднего протяжения водной поверхности озера в направлениях большой и малой оси.

В связи с двойным характером этих линий мы будем различать линии малого протяжения озера, направленные параллельно малой оси озера; этими прямыми линиями, которые проводятся по поверхности озера (с пропуском участков, занятых островами) до пересечения их с очертаниями озера. Если при сложных очертаниях озера на пути протяжения этой линии встречается еще какое-либо плесо или залив озера—линия проводится и через него.

Расстояния одной линии от другой, конечно, условны, при чем, однако, можно принять, что они должны быть на расстоянии 0,1 линейного протяжения малой оси озера друг от друга. При проведении этих линий следует, однако, принять во внимание, чтобы наиболее

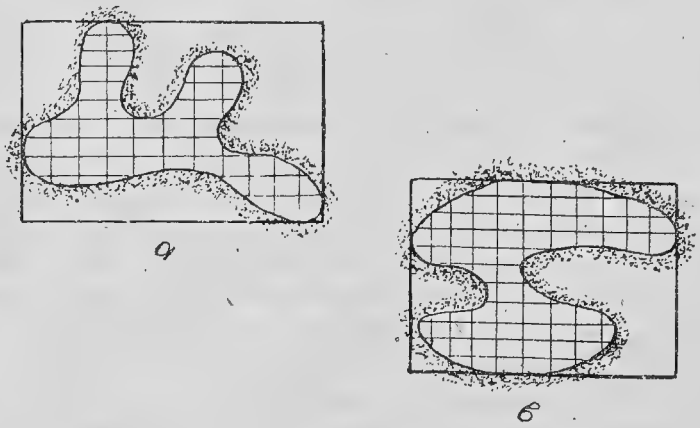


Рис. 12.

длинная и состоящая из одного отрезка линия меньшего протяжения озера была бы проведена.

Линии большого протяжения озера проводятся совершенно также, как и линии малого протяжения, но в направлении параллельном большой оси озера. Расстояния одной линии от другой должны быть линейно те же, что и расстояния линий малого протяжения.

Среди линий большого протяжения мы будем также различать 1) наиболее длинную—состоящую из суммы отрезков составляющих продолжение одна другой, 2) среднюю линию протяжений как среднее арифметическое из всех линий, состоящих из сумм отрезков продолжений один другого, 3) сумму линий протяжения, как сумму всех нанесенных отрезков линий каждого направления отдельно.

(6) Длина медианы озера. Медиана есть линия, проходящая по поверхности озера и равноудаленная от его противуположных берегов.

Из всех существующих методов проведения медианы представляется самым удобным и точным метод, предложений А. А. Бобриком (in literis); состоит он в том, что в озеро вписывают ряд окружностей вдоль его длины (см. рис. 13) соединяя отрезками прямых центры этих окружностей между собою получают медиану. Число вписанных окружностей произвольно, но оно должно быть таким, чтобы ими были охарактеризованы все особенности фигуры озера.

Если очертания озера сложные—в нем имеется большие заливы или лопасти,—то проведение медиани делается сложнее, при чем медиана в таком случае может иметь несколько ответвлений в зависимости от числа главнейших разветвлений озера. Каждое ответвление медианы проводится таким же образом, как основная линия медианы,

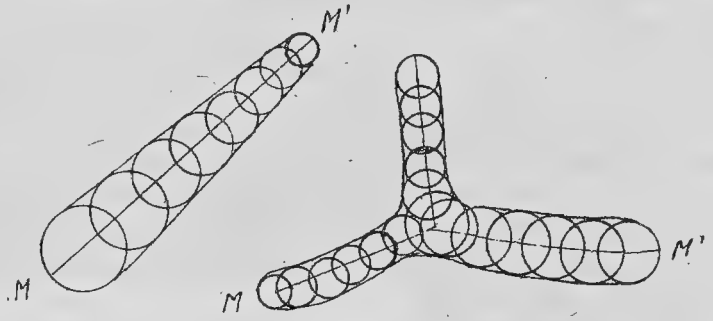


Рис. 13.

т. е. соединением центров вписанных кругов. В случае присутствия островов медиана проводится не обращая на них внимания.

При наличии ряда отвлетвлений за основную линию медианы можно условиться считать ту, по которой она имеет наибольшее линейное протяжение.

Здесь же следует, однако, отметить, что разветвления медианы ни в какой связи со степенью развлетвленности фигуры для формы самого озера (см. ниже) не стоят, т. к. не зависят от углубленности обособленных участков и, таким образом, медиана даже со всеми ее разветвлениями служит исключительно для характеристики протяжения озера в определенных направлениях.

Мы будем характеризовать количественное выражение медианы ее длиной, измеряемой линейным ее протяжением; в простейшем случае это будет длина основной линиии медианы, при условии наличия разветвлений—следует отдельно приводить—1) длину основной линия

медианы, 2) длину суммы разветвлений медианы, 3) сумму длины основной линии и суммы ее развлетвлений.

(7) Длина береговой линии. Эта величина выражает длину линии, по которой водная поверхность озера пересекается с сушей, иначе говоря,—это линия уреза воды. Величина эта определяется обмериванием одним из способов,—линий контура озера на карте, при чем мы будем здесь различать: а) длину береговой линии без островов, в) длину береговой линии островов и с) сумму береговой линии озера и островов.

(8) Глубина озера. Глубина принадлежит также, несомненно, к величинам, характеризующим собою протяжение озера, но протяжение его в третьем измерении.

Глубина измеряется прямой линией, перпендикулярной к поверхности озера и соединяющей с нею одну из точек его дна.

Эта величина никогда не вызывала различий в ее понимании, но зато, в виду ее очевидности, повидимому, никогда более точно и не определялась,

Мы будем среди величин, характеризующих глубину озера в целом различать;

а) наибольшую глубину озера, т. е. наиболее длинную из линий перпендикулярных к поверхности озера и

в) среднюю глубину озера. Определить среднюю глубину можно различным образом:

1) как частное от деления объема озера на его площадь; этот способ наиболее удобен.

2) как среднее арифметическое из всех определений глубин, произведенных в озере;

Средняя глубина чрезвычайно важна для характеристики озера; она дает нам не только величину протяжения озера сверху вниз, но также выражает собою то число объемных единиц, которое приходится на одну единицу площади озера (см. ниже).

Как наибольшая, так и средняя глубины озера могут быть определены, как для озера в целом, так и для отдельных его участков.

Кроме всех рассмотренных абсолютных величин протяжения, сюда относятся еще две величины, носящие вспомогательный характер для некоторых величин, характеризующих поверхность озера, а именно;

(9) Радиус ядра—это есть радиус наибольшего вписанного в озеро круга или ядра озера. С этой величиною связана и по ней вычисляется длина окружности ядра.

(10) Радиус района. Это есть радиус наименьшего описанного вокруг озера круга или района озера. С ней связана длина окружности района.

### в) Участки горизонтального расчленения озера.

Среди этих участков мы специальное внимание обратим на наиболее существенную из них группу обособленных участков: бухты, заливы и плеса.

Если мы будем применять к обособленным участкам только методы характеристики протяжения, указанные нами выше для озера в целом, то не получим ответа на новые запросы, которые стоят перед характеристикой протяжения обособленных участков, а именно: как далеко простирается залив, скажем от „входа в него"?—а именно этот вопрос является основным при характеристике обособленных участков.

Условное ограничение обособленного участка от озера хордою порождает новые, несуществующие для озера в целом понятие „входа" в залив. Входом в залив условимся считать место прохождения линии хорды а „точкою входа" середину длины хорды.

Что касается величин, характеризующим протяжение обособленного участка, то здесь мы будем различать среди абсолютных величин:

(11) Линию углубленности обособленного участка; под нею будем разуметь кратчайшее расстояние между хордою обособленного участка и наиболее от нее удаленною точкою побережия обособленного участка, считая по площади последнего. Это понятие аналогичное длине озера, но определяющее протяжение обособленного участка по отношеняю к входу в него с озера. Однако, понятие о длине обособленного участка, определенное так, как если бы обособленный участок был независимым водоемом,—существует паралельно и независимо от понятия линии углубленности обособленного участка; только в тех случаях, когда линия длины примыкает к одной из точек хорды она является очень мало характерной для участка, так как она пойдет как бы по диагонали обособленного участка; в этих случаях линия углубленности участка является гораздо более характерной. Особенно ярко это заметно в том случае, когда мы имеем дело с наиболее выраженными формами морфологической обособленности участков, а именно с заливами и плесами.

Бывают, однако, случаи, когда линия длины не примыкает к хорде, например, при очертаниях, изображенных на рис. 14. Тут линия длины (СВ) обособленного участка является величиною не менее характерной, чем линия углубленности его (АВ) и должна определяться на ряду с углубленностью участка. Здравый смысл нам подскажет, что ширина обособленного участка, у которого линия длины примыкает к хорде, будет не линия перпендикулярная к линии длины, как это следовало бы, если бы мы проводили ее по отношению к этой последней, а линия

перпендикулярная к линии углубленности данного обособленного участка.

Что же касается случая, изображенного на рис. 14, то здесь характерными будут как линии ширины, ориентированные перпендикулярно к линии длины обособленного участка (CB), так и линии ширины, ориентированные перпендикулярно к линии его углубленности (AB).

Таким образом, мы имеем по отношению к обособленным участкам две ширины: одна ориентирована по отношению к линии углубленности участка; другая—по отношению к линии длины его. Не считая возможным давать для одной из этих величин иное название, чем ширина—мы условимся ширину ориентированную по отношению

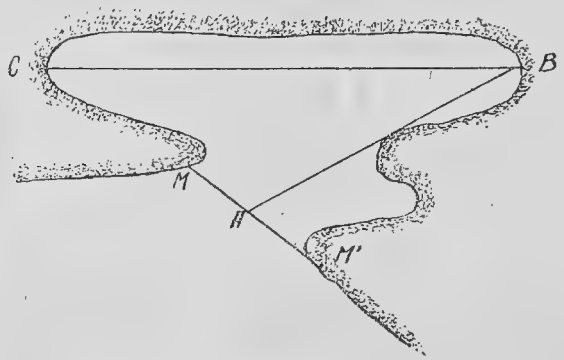


Рис. 14.

к линии углубленности участка назвать „условной", а ориентированную по отношению к линии длины—шириною „истинной".

Что касается способов проведения и определения ширины обособленных участков, то они—те же самые, какие были указаны выше для озера в целом.

(12) Большая ось обособленного участка. При ее проведении возникают те же, примерно, осложнения, что и при проведении линии длины—и все это вследствие существования в участке искусственного ограничения его хордой и существования понятия о входе в участок и точки входа.

В зависимости от того ставим ли мы проведение осей в зависимость от этих понятий или нет—мы можем различать: оси углубленности обособленного участка (большую и малую) и истинные оси обособленного участка (большую и малую).

(13) Большая ось углубленности обособленного участка должна непременно проходить через хорду участка. Она может кончатся у хорды (если большая ось перпендикулярна хорде) или лишь пересекать ее — это уже зависит от очертания обособленного участка.

(14) Малая ось ей соответствующая — проводится обычным способом.

(15) Истинная большая ось обособленного участка проводится обычным способом, рассматривая обособленный участок, как самостоятельный водоем. Если истинная большая ось обособленного участка прикасается или пересекает хорду, то более характерной для водоема является ось углубленности участка; если же истинная ось проходит вне хорды, она делается более характерной для участка, чем ось углубленности его. В последнем случае, при некоторых очертаниях обособленного участка — большая ось углубленности теряет всякий смысл, так как она может сделаться меньше малой оси углубленности (см. рис. 14).

(6) Медиана обособленных участков проводится для обособленных участков так же как и для озера в целом, с тою лишь разницей, что она примыкает к хорде в точке, выходящейся на середине ее длины (точке входа).

Для каждой из этих величин: длины, ширины, большой и малой оси и медианы может быть определено: а) максимальное ее значение в обособленных участках данного водоема, б) минимальное значение, в) средняя величина. как средняя арифметическая из всех величин обособленных участков данного значения, г) суммарное значение, т. е. сумма всех величин данного значения. Тогда, скажем, для большой оси — суммы обособленных участков озера мы будем иметь: максимальную большую ось, минимальную среднюю и сумму длины больших осей всех обособленных участков озера.

Кроме этих численных выражений каждой величины, мы можем все значения каждой величины, характеризующей эти участки представить в виде кривой, на которой на оси ординат будут отложены абсолютные величины а на оси общее процентное выражение нахождения данного значения каждой величины по отношению к общему количеству величин, как это изображено на рис. 15.

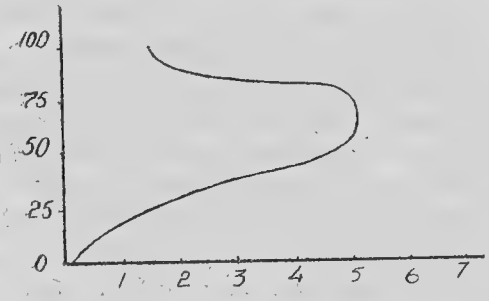


Рис. 15.

Что касается характеристики абсолютными величинами протяжения иных участков горизонтального расчленения озера, кроме морфологически обособленных, то тут, помимо отдельных характерных участков, выделение которых не может быть предусмотрено для всех озер—мы должны обратиться к изотелическим и изоцентрическим зонам озера.

Каждую из этих зон мы можем охарактеризовать, прежде всего, протяжением ее ограничивающих линии.

(17) Длина изотелических линий. Для каждой изотелической зоны (см. выше) мы можем дать: a) длину каждой из двух изотел, ее ограничивающих, в) сумму длины изотел, ограничивающих изотелическую зону, и c) полусумму изотел, ограничивающих данную изотелическую зону. Последняя величина будет наиболее характеризующей протяжение каждой изотелической зоны.

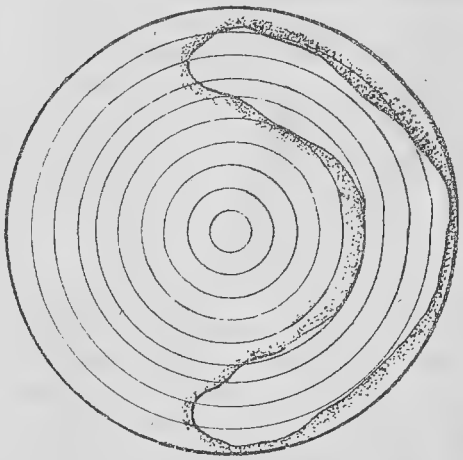

Рис. 16.

Две изотелических зоны каждого озера, будут иметь, однако, некоторые особенности: a) зона, граничащая с берегом, так как вместо одной из изотел нам придется иметь дело с береговой линией, 2) зона, ближайшая к центру ядра, т. к. она будет кругом и полусумма изотел ее будет равна только половине длины крайней внутренней изотелы озера. Кроме того, может быть дана сумма длин и средняя для изотел всего озера, причем в эту сумму и среднюю должна также войти и длина береговой линии.

(18) Длина изоцентрических линий. Для каждой изоцентрической зоны, которая обычно будет состоять из двух или нескольких разобщенных участков, может быть дана отдельно: a) длина каждой из изоцентрических линий, ограничивающих эти участки; b) сумма их, c) полусумма, особенно характерная для каждой зоны; кроме того, может быть дана d) сумма протяжений изоцентрических линий в озере и, наконец, e) средняя длина изоцентрических линий озера.

Необходимо здесь предусмотреть, такой частный случай, что при разделении района на 10 частей—не все 10 изоцентрических зон будут иметься в озере, т. к. часть их может благодаря особенностям очертаний озера окажется вне поверхности озера. Такой случай изображен на рис. 17.

В таких случаях следует вместо недостающих изоцентрических линий считать их длину равной нулевому значению, а среднюю длину изоцентрических линий исчислить делением суммы линий на общее число зон, т. е. на 10.

(19) Средняя глубина изотелических зон. Эта величина может быть определена следующим образом: строят профиля глубин озера, соответствующие линиям малого протяжения озера; для каждого такого профиля определяют среднюю глубину каждой изотелической зоны, затем из всех средних глубин данной изотелической зоны во всех профилях берут среднюю арифметическую, которая и будет средней глубиной изотелической зоны озера.

Эта величина очень важна для морфологической характеристики объемов водных масс озера (см. ниже), здесь же она имеет лишь вспомогательное значение.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Если мы пересечем озеро на некоторых определенных глубинах плоскостями, идущими параллельно поверхности озера, то получим сечения озера, соответствующие этим глубинам. Каждое такое сечение может быть охарактеризовано определенными величинами протяжения. Особенность морфометрической характеристики этих сечений состоит в том, что они могут состоять при определенном рельефе дна озера не из одного, а из нескольких замкнутых контуров.

Все методы морфометрической характеристики протяжения поверхности озера могут быть целиком приложены и к характеристике сечения озера на соответствующих глубинах, причем длины изобат окажутся величинами, аналогичными длине береговой линии.

В случае, если сечение озера на какой-либо глубине состоит из нескольких замкнутых контуров, можно каждый такой контур охарактеризовать отдельными абсолютными величинами, и, кроме того, взять суммы этих величин, напр., суммы больших осей, суммы длин, медиан и т. д.

По аналогии, с участками горизонтального расчленения, мы можем, помимо характеристики каждого участка вертикального расчленения характеризовать также и их сумму в отношении каждой отдельной величины: осей, длины, длины береговой линии, величин направлений и развития; для каждой величины мы сможем определить: а) максимальное ее значение, б) минимальное значение, в) среднее значение и г) суммарное значение. Кроме того, все значения данной величины для разных участков вертикального расчленения мы можем выразить в виде кривой распределения, аналогично тому, как мы это делали для величин, характеризующих участки горизонтального расчленения,

## 2. Величины ориентировки в пространстве.

Сперва рассмотрим величины, характеризующие озеро в целом, а затем отдельные участки его горизонтального и вертикального расчленения.

### а) Озеро в целом.

Ориентировка в пространстве может быть двоякого рода: прежде всего, это может быть характеристика озера определенными географическими координатами, затем может быть ориентация по странам света всех линий, которыми произведена характеристика озера абсолютными величинами.

Рассмотрим порознь эти вопросы.

(20) Географические координаты. Нам представляется, что эти величины, обычно рассматриваемые вне связи с морфометрией озера, относятся именно сюда, как характеристика величин протяжения.

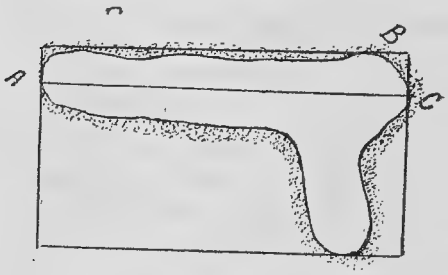

Рис. 17.

Из всех точек озера, наиболее важными для определения озера на градусной сетке будут крайние точки его протяжения в разных направлениях, а именно четыре точки, в которых касаются очертания озера линии, параллельные большой и малой его оси, что видно из рис. 17 (точки A, B, C, D); тогда протяжение озера в обоих направлениях будет возможно охарактеризовать географическими координатами.

(21) Ориентировка озера по странам света. Ориентировка всякого озера по странам света является весьма существенною частью морфометрической характеристики озера, обычно, однако, эти данные также не относились к области морфометрии. Каждая прямая линия, которой выражается протяженность озера—должна сопровождаться указанием на азимут или румб, определяющий направление данной линии по странам света. Конечно, когда рассуждения ведутся о каких-либо отвлеченных замкнутых картографических фигурах—ориентация их в пространстве не важна, но для лимнологии, имеющей дело с конкретными озерами, их ориентировка по странам света является весьма существенной для правильного понимания целого ряда особенностей их морфологии, все равно как и точное определение их положения на земной поверхности.

Ввиду того, что из всех величин, характеризующих протяжение озер большинство к своей ориентации связаны друг с другом— у нас остаются лишь четыре величины имеющие независимую ориентировку в пространстве, а именно: большая ось, длина, медиана и береговая линия.

Рассмотрим теперь по отдельности характеристику ориентировки каждой из этих величин:

1) Большая ось—всегда выражена одной прямой линией, ориентировка ее проста и выражается определенным числом градусов и его подразделений.

2) Медиана озера, как мы условились выше, состоит из отрезков прямых линий; ее ориентировку по странам света можно дать, отметив направление каждого из отрезков этой ломаной линии в отдельности. Ориентировку имеет смысл определять лишь для основной линии. медианы, не касаясь ее разветвлений, т. к., разветвления соответствуют обособленным участкам озера а о характеристике их ориентировки речь будет впереди. Для определения ориентировки медианы поступают следующим образом: измеряют линейное протяжение каждого из отрезков ломаной линии—обозначая его направление и в результате получают несколько направлений, каждое из которых имеет определенное линейное протяжение. Результат этого измерения можно дать в виде таблицы, в которой даны направления отрезков прямых, составляющих медиану и протяжение каждого из этих направлений, а можно,—и это особенно может быть рекомендовано для сравнительных целей—вычислить, какой $^0/_0$ составляет линейное протяжение каждого из направлений, по отношению к общей длине медианы. Эти данные могут быть изображены и графически, при чем на оси ординат откладываются главнейшие направления по странам света, а по оси абсцисс—$^0/_0{}^0/_0$ линейного протяжения данного направления к общей длине медианы озера.

В случае, если медиана прямая—все $100^0/_0$ ее длины будут относиться к какому-нибудь одному направлению, в случае же существования различных направлений—это будет отражено на кривой, при чем наиболее выраженное направление будет охарактеризовано максимумом.

3) Длина озера—состоит согласно нашему определению из отрезков прямых, но на некоторых своих участках может состоять и из отрезков кривых линий. Ориентировка линии длины может быть определена лишь для ее прямолинейных участков; для этого поступают совершенно таким же образом, как это было указано для ориентировки медианы; распределение ориентировки может быть выражено также в виде кривой.

4) Береговая линия—как правило, является кривой линией, определить направление которой самой по себе является чрезвычайно трудным; гораздо характернее, однако, будет определение направлений отрезков прямых, характеризующих направления берега как в озере в целом, так и характерных участков. Проведение этих линий характерных для направления очертания берега, может быть произведено с различною степенью подробности, как это ясно из рис. 18,—что будет лишь с большей или меньшей подробностью характеризовать ориентировку береговой линии озера.

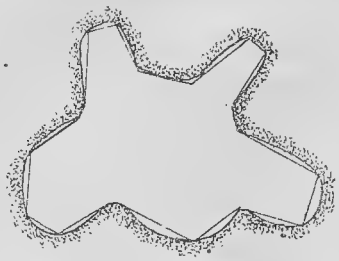

Рис. 18.

Линии, характеризующие направления береговой линии не стоят ни в каком отношении ни к хордам, отделяющим морфологически обособленные участки озера, ни к выпуклым вписанным или описанным полигонам—эти линии, в общем, должны представить замкнутый вписанный полигон неправильной формы, причем в зависимости от индивидуальных особенностей береговой линии на данном участке с одной стороны, и от степени подробности характеристики ориентации береговой линии, с другой стороны,—грани этого полигона могут быть большего или меньшего протяжения. Абсолютная длина отдельных отрезков этих линий, а равно и длина его периметра сама по себе не имеет особого лимнологического интереса, а потому мы не вводим их как отдельные величины, характеризующие протяжение озера,—они важны лишь поскольку этим характеризуется ориентировка береговой линии в пространстве.

Для получения окончательных величин, характеризующих ориентировку длины береговой линии озера поступают так же, как это было описано для медианы и так же можно получить график распределения ориентировки береговой линии озера.

Рассмотренные величины, характеризующие ориентировку по странам света различных величин протяжения озера, нужны не только сами по себе, но также и в связи с общим вопросом об ориентировке по странам света всего озера как такового.

Этот вопрос может быть понят двояко: можно характеризовать направление, в котором озеро имеет наибольшее протяжение на карте; эта ориентировка озера определяется ориентировкой большой оси озера.

Но, далее, можно характеризовать ориентировку протяжения водной поверхности озера и об этой ориентировке медиана дает самое правильное представление; вот почему все величины, полученные для характеристики ориентировки медианы мы предлагаем считать характе-

ризующими и ориентировку протяжения водной поверхности озера в целом или, сокращенно, просто ориентировкой озера.

Ориентировка по линии длины имеет по сравнению с медианой два недостатка: во-первых, на некоторых участках линия длины может быть кривой — неопределенной ориентировки и, во-вторых — линия длины менее отражает изменения в направлении очертаний озера, чем медиана.

### b) Участки горизонтального расчленения.

Ориентировку по странам света обособленных участков лучше всего производить по медианам этих участков.

Величины ориентировки могут быть даны не только для отдельных участков, но и для суммы обособленных участков озера.

Если мы будем отдельно суммировать по направлениям каждый отрезок медианы во всех их обособленных участках озера, то в результате мы получим, что каждое направление медианы обособленных участков озера будет представлено определенными его линейными протяжениями.

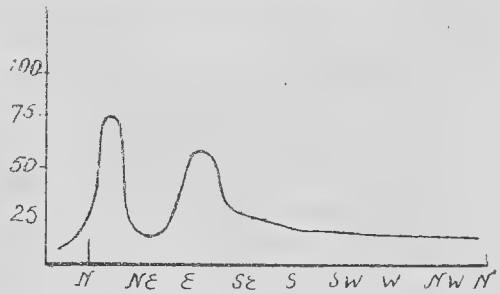


Рис. 19.

Если мы по оси ординат отложим страны света, а по оси абсцисс—линейное протяжение обособленных участков каждого из направлений в определенном масштабе, то получим ряд точек, соединив которые и получим кривую ориентации обособленных участков озера.

Можно вычислить также процентное отношение протяжения каждого направления к сумме линейного протяжения всех длин медиан и полученные $^0/_0{}^0/_0$ отношения можно также изобразить в виде кривой распределения, изображенной на рис. 19, где по оси ординат нанесены различные направления по частям света, а по оси абсцисс $^0/_0{}^0/_0$ линейного протяжения данного направления по отношению к сумме линейного протяжения длины медиан всех обособленных участков.

Каждую из величин в морфометрической характеристике суммы обособленных участков, можно вычислить не только для всех обособленных участков сразу, но и для отдельных их групп; напр., можно отдельно вычислить величины, характеризующие плесы, отдельно заливы и бухты; далее, можно отдельно вычислить для участков 1-го 2-го и

т. д. порядка; наконец, можно вычислить величины для отдельных участков побережья озера, отдельных районов его и т. д. Вся разница будет заключаться в том, что для вычислений берутся тогда лишь та или другая определенная группа обособленных участков.

(22) Показатель доминирующих направлений озера. Одних данных об ориентации по странам света озера в целом не достаточно для того, чтобы судить о доминирующих в озере направлениях; это хорошо видно из рис. 20а, в котором и большая ось АВ и основная медиана (М М′) озера совсем не совпадают с доминирующим в нем направлением.

С другой стороны, и одних данных об ориентации обособленных участков также не достаточно для этих суждений, что видно из рис. 21б.

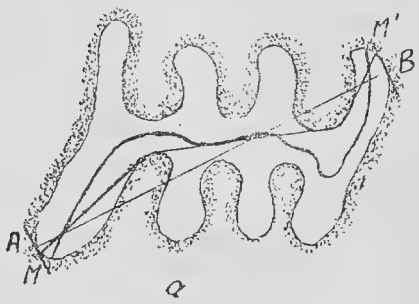


Рис. 20-а.

Рис. 20-б.

Представление о доминирующих направлениях в озере получается лишь при выяснении отношений между направлением озера в целом и направлением обособленных его участков.

Сопоставление ориентации обособленных участков озера с общей ориентацией озера—делается путем отыскания для каждого отдельного направления отношения между линейными протяжениями одного и другого.

Производя определение ориентации обособленных участков озера по их медианам, мы имеем для участков ряд величин линейного протяжения для каждого из имеющихся в озере направлений; для озера в целом—производя определение его направления по его медиане, мы имеем тоже ряд величин разных направлений.

Просуммировав два ряда величин, по каждому направлению в отдельности — мы получим ряд цифр, характеризующих линейное про-

тяжение наблюденных в озере направлений, из которых доминирующие по линейному протяжению направления и станут ясны.

Здесь необходимо, однако, сделать оговорку о том, что в том случае, если основная медиана озера входит одним или обоими своими концами в обособленные участки озера, то из суммы соответствующих направлений необходимо вычесть ту величину линейного протяжения линии основной медианы, которая окажется проходящей по обособленному участку (участкам) озера, линейное протяжение которых уже взято в сумму линейных протяжений, обособленных участков озера.

Для того, чтобы сделать материал о доминирующих направлениях сравнимым для разных озер—нельзя его выражать в абсолютных величинах, а необходимо выразить в $^0/_0{}^0/_0$ отношениях, которые мы и будем называть **показателями доминирующих направлений озера.**

Условимся выражать величины доминирующих направлений озера в $^0/_0{}^0/_0$ к сумме линейных протяжений медианы озера в целом и медиан отдельных его обособленных участков для всех направлений [1]). Тогда показатель $100^0/_0$ выразит тот случай, когда иного направления, кроме данного в озере не будет, а показатель, равный $0^0/_0$ укажет на отсутствие какого-либо направления. Доминирующим же будет то направление, показатель которого будет наиболее высоким из всех прочих, независимо от своего абсолютного значения. Направления эти не всегда будут теми самыми, которые даются большою осью озера или преобладающими направлениями его медианы—и как-раз это несовпадение, которое, напр., будет иметь место при очертании озера, данное на рис. 20а—будет очень характерным с физико-географической точки зрения. Предлагаемый же нами метод позволяет количественно оценить все господствующие в озере направления.

Показатели доминирующих (господствующих) направлений в озере могут быть представлены в виде кривой, на оси ординат которой откладываются направления, а на оси абсцисс—$^0/_0{}^0/_0$ линейного отношения данного направления по отношению к сумме линейных протяжений озера в целом и его обособленных участков.

Среди всех возможных значений показателей доминирующих направлений в озере, мы будем прежде всего различать **относительное преобладание** направления, когда показатель является хотя и наибольшим, но характеризует менее $50^0/_0$ линейного протяжения всех направлений в озере. В таком случае, все же то из направлений,

---

[1]) И здесь из этой суммы нужно вычесть длину тех отрезков медианы озера, которые проходят по обособленным его участкам, которые охарактеризованы уже своими величинами.

которое будет представлено наибольшим показателем будет относительно преобладающим. Значения показателей будут при этом тем больше, чем при прочих равных условиях число учитываемых направлений их меньше.

Если же мы имеем случай, при котором какое-либо направление выражено показателем бо́льшим, чем 50%, то мы можем о нем говорить как об абсолютно преобладающем.

Если показатель доминирующего направления более 50%, но менее 75%, то мы можем условиться называть такое доминирующее направление — сильно выраженным; если же показатель этот равен или более 75% и подходит к 100%, их не достигая, то мы можем сказать, что данное направление очень сильно выражено, наконец, если показатель равен 100%, то данное направление абсолютно доминирует; в озере других направлений не имеется.

Указанные приемы анализа доминирующих направлений можно употреблять не только для определения главных доминирующих направлений, но также и для обнаружения различных, мало друг от друга отличающихся направлений определенных румбов,—например, на наших Олонецких озерах — направление движения ледника, в отличие от направления тектонического и т. д.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Для характеристики доминирующего направления отдельных глубинных зон озера применяются те же величины, что и для озера в целом. Величины эти могут весьма отличаться в отдельных глубинных зонах. Если на одну и ту же сетку координат, на оси ординат которой отложены страны света, а на оси абсцисс—%% к общей длине изобат — построить отдельные кривые для всех глубинных зон озера, то получится весьма характерная для каждого озера картина, свидетельствующая о связи рельефа озера с окружающей местностью.

## 3. Величины развития.

### a) Озеро в целом.

Степень развития величин, характеризующих протяжение озера определяется отношением этих величин к тем, которые можно считать нормальными для озера (см. выше). Понятие о развитии величин является понятием общим, в частном же случае, развитие линейных

величин называется их **извилистостью** или **избытком протяжения** [см. Бобрик (4)].

Как мы видели выше нормальной величиной по отношению ко всякой не прямой линии будет прямая, соединяющая ее концы и потому

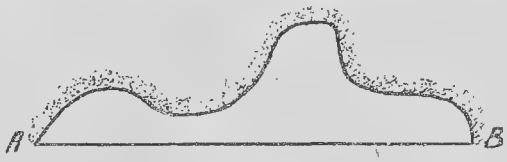


Рис. 21.

извилистость линии определяется отношением длины рассматриваемой линии к длине прямой линии, соединяющей ее концы. Она может быть выражена числовой величиной—показателем извилистости в $^0/_0{}^0/_0$ по отношению к нормальной величине и может быть вычислена по формуле:

$$\frac{(L-O).100}{O},$$

где L — длина линии, извилистость которой определяется, O — длина прямой линии, соединяющей ее концы.

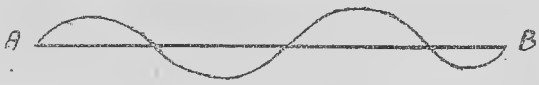


Рис. 22.

Извилистость может быть охарактеризована не только количественно, определенными показателями, но и качественно—определенным ее характером, причем мы будем различать следующие три характера извилистости: a) линия будет **изогнутой**; тогда она вся расположится по одну сторону от прямой, соединяющей ее концы, (рис. 21). b) линия будет **извилистой**, когда она расположена по обе стороны от прямой, соединяющей ее концы (рис. 22), c) линия будет **спиральной**, когда она будет пересекать продолжение прямой, соединяющей ее концы раз или несколько раз, но в одном и том же направлении (рис. 23).

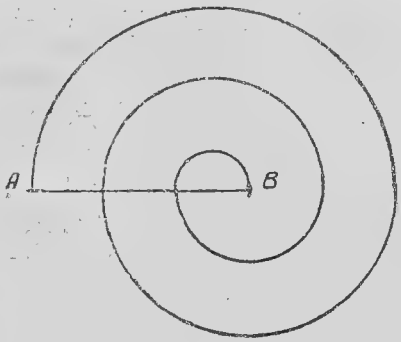


Рис. 23.

(23) Показатель извилистости может быть определен для следующих линий, характеризующих протяжение озера: 1) линии длины, 2) медианы и 3) береговой линии отдельных участков.

(24) К величинам развития протяжения озера должен быть отнесен показатель развития береговой его линии.

Нормальной величиной по отношению к каждой замкнутой линии, в частности по отношению к длине береговой линии—будет окружность круга, имеющего площадь, равную площади, ограниченной изучаемой замкнутой линией.

Со времен Schulze (45) для определения развития береговой линии употребляется отношение длины береговой линии к длине окружности равновеликого озеру круга. Это отношение, взятое в виде разности и выраженное в $^0/_0{}^0/_0$ к длине вышеназванной окружности и будет показателем развития береговой линии и может быть выражено формулой:

$$\frac{(L_0 - C) \cdot 100}{C},$$

где $L_0$ — длина береговой линии, а C — длина окружности круга равновеликого площади озера.

C — может быть выражена через площадь озера (P).

$$C = 2\pi \sqrt{\frac{P}{\pi}}.$$

Этот показатель имеет всегда положительное значение, так как длина окружности будет наименьшая возможная длина линии, ограничивающей определенную площадь.

При определении развития береговой линии озер правильнее брать длину береговой линии общую, т. е. как самого контура озера, так и его островов, а за площадь озера—брать площадь лишь водного его зеркала, без площади островов; однако, возможно при более дробной характеристике вычислить еще дополнительно

a) показатель развития береговой линии контура озера, при исчислении которого длина береговой линии островов не принимается во внимание, а площадь для вычисления берется вместе с площадью островов и, кроме того,

b) показатель развития береговой линии островов, для вычисления которого берется лишь длина береговой линии суммы островов, а площадью сумму площадей островов.

Само собой разумеется, что показатель развития береговой линии может быть вычислен и для каждого острова в отдельности.

Сейчас еще преждевременно устанавливать какую-нибудь классификацию для разных значений рассматриваемых показателей.

### b) Участки горизонтального и вертикального расчленения озера.

К этим участкам применяют, в общем, все величины, характеризующие развитие величин протяжения озера в целом и лишь в отношении замкнутых контуров величины развития имеют некоторые особенности, и тут мы будем различать:

(25) Показатель развития изотел, под которым будем разуметь отношение длины данной изотелы к длине окружности круга, который имеет площадь, равную очерченной данной изотелой площади; вычисление этого показателя ведется по формуле развития береговой линии при соответствующем изменении величин.

(26) Показатель развития изобат определяется отношением длины изобат к длине окружности, имеющей площадь, равную площади, очерченной данной изобатой или сумме площадей, очерченных изобатами, если данная изобата состоит из нескольких замкнутых контуров.

Оба последних показателя, определенные для каждой изотелы и изобаты в отдельности могут быть выражены для озера в целом в виде кривой, на оси ординат которой отложены расстояния между изотелами или расстояние между изобатами по вертикали, а по оси абсцисс— величины соответствующих показателей.

---

## Б. Морфометрические величины, характеризующие поверхность озера.

Поверхность всякого водоема, а особенно большого, строго говоря, не представляет собою плоскостью, а является поверхностью геоида, площадь которого немного больше, чем проекция его на плоскости; далее, ввиду того, что кривизна поверхности земного геоида—зависит от расстояния от центра земли, необходимо бывает при суждениях о поверхности водоема вводить поправки как на высоту над уровнем моря, так и на кривизну поверхности. Ввиду того, однако, что поправки эти для громадного большинства озер весьма незначительны, и практи-

чески нужны очень редко, я не стану на них задерживаться и отсылаю за всеми указаниями по этому поводу к работе Penck'a (32).

Морфометрические величины, характеризующие поверхность озера, мы будем рассматривать по тем группам величин, которые нами установлены для морфометрических величин вообще, но прежде чем перейти к этому рассмотрению, необходимо условиться в точном употреблении некоторых терминов, связанных с изучением площади озера; так, под очертанием озера мы будем разуметь самое общее понятие о характере его поверхности. Затем, мы будем различать ряд все увеличивающихся осложнений в его очертаниях—который мы будем обозначать последовательно—контур, форма и фигура озера.

Под фигурой водоема мы будем понимать, по аналогии с геометрией, общий характер его очертаний на земной поверхности. Но подобно тому, как в геометрии геометрическая фигура треугольник может иметь несколько подчиненных этому общему понятию форм (треугольник прямоугольной формы, равносторонней формы и т. д.), так и мы будем различать среди каждой группы фигур водоема, несколько форм, более детально определяющих очертания поверхности водоема. Наконец, подобно тому как в геометрической фигуре любой формы мы можем еще остановиться на характере контура этой формы, так и в водоеме любой формы, мы можем различать различный характер его контуров или береговой линии. Несомненно, что все три понятия: фигура, форма и контур представляют собою один непрерывный ряд постепенно увеличивающихся усложнений очертания; как и всюду в природе, анализируя непрерывный ряд, мы разлагаем его для удобства мышления на ряд прерывных величин, с которыми только и могут оперировать наши логические возможности.

Итак, мы имеем возрастающий ряд осложнений в очертаниях водоема; если говорим об осложнении очертаний, то отсюда вытекает необходимость указания на наименее усложненное, самое простое очертание, каковым является круг, как об этом было уже сказано выше.

## I. Величины абсолютные.

Абсолютные величины, которыми характеризуется поверхность озера выражаются в квадратных единицах.

### а) Озеро в целом.

(27) Площадь озера. В зависимости от того принимаются ли во внимание при исчислении площади озера острова или нет, мы будем различать: а) общую площадь озера, когда она исчислена вместе

с площадью островов, b) площадь зеркала озера, когда она исчислена без площади занимаемой островами. Особняком стоит площадь островов—величина, которая не является уже площадью озера, а аналогична площади полуостровов, мысов и т. д. если и таковая исчислялась отдельно.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

При характеристике поверхности этих участков абсолютными величинами мы будем различать:

(28) Площади обособленных участков озера—эти площади могут быть исчислены для каждого обособленного участка в отдельности; все эти величины могут быть выражены в виде кривой распределения, при чем можно в отдельности привести: a) минимальную, b) максимальную, c) среднюю и d) сумму площадей обособленных участков.

(29) Площадь остова озера,—это площадь, определяется разностью площади озера в целом и суммы площадей его обособленных участков.

(30) Площади изотелические—так будем называть площади, заключающиеся между изотелами или линиями равноотступающими от берегов озера, (см. выше).

Полученные величины площадей можно изобразить в виде кривой их распределения в озере. Сами по себе как эти так и три нижеуказанные величины не представляют особого лимнологического значения, но важны как вспомогательные величины для других показателей. Сумма всех изотелических площадей дает площадь озера в целом.

(31) Площади изоцентрические—под которыми мы будем разуметь площади, заключающиеся между изоцентрическими линиями.

(32) Площадь ядра—это будет площадь наибольшего круга, который можно вписать в озеро. Это величина вспомогательная, нужная для выяснения отношений, о которых речь будет ниже, равно как и

(33) Площадь района—которая есть площадь наименьшего круга, описанного вокруг озера.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

(34) Характеристика очертаний поверхности участков вертикального расчленения озера—абсолютными морфометрическими величинами в общем производится теми же методами, что и для озера в целом,

рассматривая поверхность сечения озера на любой глубине, как поверхность самостоятельного водоема. Дополнительными величинами будут лишь разности площадей соседних сечений, которые дадут размеры площадей, находящихся между соседними изобатами, в их проекции на поверхность озера.

В том случае, если данное сечение озера даст несколько замкнутых контуров, мы должны характеризовать данный участок вертикального расчленения, как сумму замкнутых контуров.

## 2. Величины отношений.

Очертания поверхности озера могут быть выражены с одной стороны отношением отдельных абсолютных величин, характеризующих протяжение озера в целом, с другой же стороны отношением величины протяжения и поверхности отдельных участков горизонтального расчленения озера. Различие отношений с разною степенью детальности характеризуют очертание озера, а потому часть из них будут характерны для фигуры, другие для формы озера.

Сперва мы рассмотрим величины, характеризующие озеро в целом, а затем укажем на некоторые особенности характеристики участков горизонтального и вертикального расчленения озера.

### а) Озеро в целом.

Переходим к рассмотрению отдельных величин.

Показатель сжатия фигуры озера. Сжатие определяется отношением большой оси к малой; ими определяется неравномерность протяжения в двух взаимно перпендикулярных направлениях и выражается оно в отношении разности большой и малой оси к оси большой выраженном в %%. Вычисление производится по формуле:

$$\frac{(A-a).100}{A},$$

где A — длина большой оси, a—длина малой оси озера. Показатель сжатия будет равен нулю в случае равенства осей и равен 100, если малая ось равна нулю. Все промежуточные значения выразят различные степени сжатия озера. Условимся считать, что сжатие фигуры озера мало, если показатель больше 0 и меньше 25%; оно будет среднее, если показатель равен и больше 25%, но меньше 50%; сжатие большое—если показатель равен или больше 50%, но менее 75% и

сжатие очень большое, если показатель равен или больше 75%, но всегда меньше 100%.

(36) Показатель сжатия формы озера. Сжатие формы озера определяется отношением суммы линий бо́льшего протяжения озера к сумме линий малого его протяжения (см. выше). Выражается показатель сжатия в отношении разности этих величин к длине суммы линий большого протяжения выраженном в %% и вычисляется по формуле:

$$\frac{(E_s - e_s)\,100}{E_s},$$

где $E_s$ — сумма линий бо́льшего протяжения озера, а $e_s$ — сумма линий малого его протяжения.

Мы можем встретить здесь следующие случаи:

1) показатель имеет отрицательное значение; это будет в том случае, когда $E_s$ окажется меньше $e_s$; такой случай вполне возможен, как явствует из очертания, изображенного на рис. 24; условимся считать, что в таком случае озеро будет иметь обратную сжатость формы.

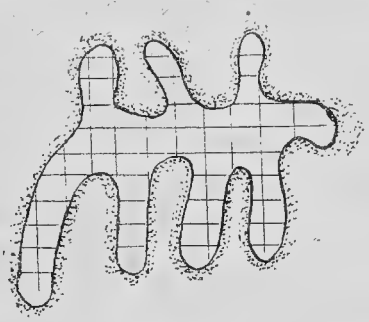

Рис. 24.

2) Если показатель равен 0, то суммы обеих линий равны друг другу — будем считать, что в таком случае форма озера не сжата.

3) Если показатель больше 0, но меньше 25%—сжатость формы озера малая.

4) Если показатель равен или больше 25%, но менее 50%—сжатость формы озера—средняя.

5) Если показатель равен или больше 50%, но менее 75%—сжатость формы озера—большая.

6) Если показатель равен или больше 75%, но никогда не достигает 100%—сжатость формы очень большая.

(37) Отношение длины озера к средней его ширине. Это отношение, однако, является менее характерным, чем показатель сжатия формы озера, а потому мы ограничимся здесь лишь указанием формулы, по которой можно вычислить показатель этой величины выражая его в %% к протяжению линии длины:

$$\frac{(L - B_m).\,100}{L}$$

где L—длина озера, а $B_m$ — средняя его ширина.

Кроме этих основных величин, очертания водоема могут быть охарактеризованы еще рядом отношений линейного протяжения: отношением большой оси водоема к его длине, отношением средней ширины к малой оси и др. Мы не станем, однако, останавливаться пока более на этих величинах, т. к. они дают мало нового по сравнению с уже приведенными.

Наиболее полная характеристика формы озера основана на характеристике того значения, которое имеют морфометрические особенности суммы обособленных участков озера—по сравнению с соответствующими особенностями озера в целом; мы будем здесь различать следующие величины:

(38) Показатель относительной разветвленности озера [1]). Он определяется отношением средней медианы всех обособленных участков озера к длине основной медианы озера в целом; выражается это отношение в виде $^0/_0{}^0/_0$.

Показатель относительной разветвленности озера можно вычислить по следующей формуле:

$$\frac{m_m \cdot 100}{M}.$$

где M — длина медианы озера, $m_m$ — средняя длина медиан обособленных участков.

Среди различных значений показателей относительной разветвленности озера условимся различать следующие градации:

а) показатель больше 0, но меньше $25^0/_0$—озеро слабо разветвлено,

б) показатель равен или больше $25^0/_0$, но меньше $50^0/_0$—озеро разветвлено средне,

в) показатель равен или больше $50^0/_0$, но меньше $75^0/_0$—озеро разветвлено сильно,

г) показатель равен или больше $75^0/_0$, но меньше $100^0/_0$—озеро очень сильно разветвлено.

(39) Показатель абсолютной разветвленности озера—будет определяться отношением суммы длины медиан обособленных его участков к длине основной медианы озера и выражается

---

[1]) Величину эту не следует смешивать с „разветвленностью озера“ — под которой А. А. Бобрик (2а) предложил понимать отношение разности площадей самого озера и вчерченного полигона к площади этого полигона. Я решился тем не менее употребить этот термин, ввиду того, что не нашел для этого понятия ни одного мало мальски подходящего слова, которое уже не было-бы преокупировано А. А. Бобриком для одной из его величин.

в $^0/_0{}^0/_0$ суммы длины медиан к длине основной медианы озера. Вычисление показателя можно вести по формуле:

$$\frac{m_s \cdot 100}{M}.$$

где M—длина медианы, а $m_s$ — сумма длин медиан обособленных участков.

Этот показатель не укажет нам ни числа обособленных участков, ни их распределения по озеру, но он характерен для суждения о протяжении обособленных участков по отношению к протяжению озера. Показатель этот будет равен 0, когда обособленных участков нет и разветвленность его будет отсутствовать.

Для прочих значений показателей мы будем различать следующие случаи:

а) показатель равен или меньше $50^0/_0$—условимся считить такую абсолютную разветвленность слабою,

б) показатель равен или больше $50^0/_0$, но менее $100^0/_0$—такая разветвленность будет среднею,

в) показатель равен или больше $100^0/_0$, но меньше $200^0/_0$—такая разветвленность будет сильная, и, наконец,

г) показатель равен или больше $200^0/_0$—в таком случае разветвленность озера будет очень сильной.

По аналогии с приведенными данными для длины обособленных участков, могут быть получены данные, характеризующие абсолютные и относительные соотношения между большою и малою осью и шириной обособленных участков и соответствующими величинами озера в целом.

(40) Показатель расчлененности формы озера. Он отражает отношение площади озера к площади суммы обособленных его участков; показатель выражается в $^0/_0{}^0/_0$ разности этих величин по отношению к площади озера и вычисляется по формуле:

$$\frac{(P-P_s).100}{P},$$

где P—площадь озера, $p_s$—сумма площадей обособленных участков.

В простейшем случае, когда отсутствуют обособленные участки,—показатель будет равен 0; он может, однако, превосходить и $100^0/_0$. Мы считаем преждевременным устанавливать для него определенные условные подразделения.

(41) Показатель горизонтальной деформации озера — термин заимствованный нами у Бобрика (6); он выражает собою отношение между площадями района и ядра озера. Выра-

жается он в виде отношения разности этих двух площадей к площади озера и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(P^r - P^b).\ 100}{P}$$

где $P^r$—площадь района, $P^b$—площадь ядра, а $P$—площадь озера.

Показатель будет равен 0, если $P^r$ и $P^b$ равны друг другу; все же остальные значения показателей будет всегда с положительным знаком и будут говорить о разной степени горизонтальной деформации; устанавливать какие-либо градации в связи с различным значением показателя, в настоящее время еще рано.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

Прежде всего, укажем на особенности характеристики очертаний поверхности отдельных обособленных участков озера—бухт, заливов и плесов; они вызваны некоторыми особенностями морфометрической характеристики протяжения обособленных участков, на которые указано было выше. Так, при определении сжатия фигуры обособленного участка, (для случаев, когда истинная большая ось (см. выше) проходит через хорду участка характернее будет брать отношение линий углубленности участка, для прочих же случаев—отношение истинных осей участка. Остальные величины определяются указанными выше способами. Из новых величин, которыми возможно охарактеризовать очертания обособленных участков, указывающие на связь этих участков с озером в целом, укажем следующие:

(42) Показатель отчлененности обособленного участка от озера (или плесов озера друг от друга).

Показатель этой отчлененности выражается отношением между длиною хорды и размерами, характеризующими протяжение обособленного участка в направлении, более или менее параллельном хорде.

Тут могут быть два основных случая:

a) Линия длины обособленного участка примыкает к хорде; тогда величина сравниваемая с хордой будет наибольшая условная ширина обособленного участка (см. выше),

b) Линия длины обособленного участка не примыкает к хорде; тогда величина сравниваемая с хордой будет длина обособленного участка.

Необходимость пользоваться для установления показателя отчлененности одной из двух величин диктуется тем, что для очертаний обособленных участков, ширина иногда является более характерной величиной для установления степени отчлененности. Показатель выра-

жается в виде разности длины линии ширины или длины обособленного участка и длины хорды,—при чем эти величины исчисляется в $^0/_0{}^0/_0$ отношении этой разности к длине линии ширины или длины.

Вычисление ведется по формуле:

$$\frac{(b_n - Ch_n) \cdot 100}{b_n}$$

где $b_n$—длина линии условной ширины или длины обособленного участка, а $Ch_n$ длина хорды n-го участка.

Будем различать среди возможных величин показателей отчлененности несколько значений:

1) Показатель равен 0.—Это тогда, когда длина линии, характеризующая обособленность участка равна длине хорды—участок не отчленен.

2) Показатель больше 0, но меньше 25$^0/_0$—участок мало отчленен.

3) Показатель равен или больше 25$^0/_0$, но меньше 50$^0/_0$—отчленение участка среднее.

4) Показатель равен или более 50$^0/_0$, но меньше 75$^0/_0$—отчленение участка большое.

5) Показатель равен или больше 75$^0/_0$, но всегда меньше 100$^0/_0$—отчленение участка очень большое.

(43) Показатель углубленности обособленного участка. Углубленность участка определяется отношением длины хорды к длине линии углубленности обособленного участка (см. выше). Выражая показатель углубленности в виде $^0/_0{}^0/_0$ отношения разности этих величин к линии углубленности участка получим формулу для его вычисления:

$$\frac{(d_n - Ch_n)\, 100}{d_n}$$

где $d_n$—длина линии углубленности n-го обособленного участка, а $Ch_n$ длина его хорды.

Будем различать в значениях рассматриваемого показателя следующие случаи:

1) показатель отрицательный или равен 0; это может быть лишь в том случае, если линия углубленности либо меньше, либо равна длине хорды. Условимся называть такие участки очень мало углубленными; сюда будут относиться все бухты и очень мало углубленные заливы (см. выше).

2) Показатель больше 0, но меньше 25$^0/_0$; условимся называть такие заливы или плеса мало углубленными или вдающимися.

3) Показатель равен или больше 25%, но менее 50%; такие заливы или плеса будем считать средне углубленными или вдающимися.

4) Показатель равен или больше 50%, но менее 75%; это заливы или плеса сильно углубленные или вдающиеся.

5) Показатель равен или больше 75%, но всегда менее 100%— такие заливы или плеса будем называть весьма сильно углубленными или вдающимися.

Мы можем характеризовать определенными величинами фигуру не только каждого обособленного участка в отдельности, но и фигуру всей суммы обособленных участков озера. Эти величины получаются способом аналогичным тому, который уже выше был указан для исчисления величин протяжения, характеризующих сумму обособленных участков озера, а потому мы не будем на них специально останавливаться и лишь укажем, что помимо истинного значения максимального, минимального, среднего и суммарного значения каждой из величин возможно и ее изображение в виде графика.

Далее, к величинам, характеризующим отдельные участки горизонтального расчленения озера относятся:

(44) Показатель площадной изотеличности, выражающий отношение площади отдельной изотелической зоны озера к площади озера в целом; показатель этой величины выражается в %% к площади озера, и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{P_n^i \cdot 100}{P},$$

где $P_n^i$—площадь n-ной изотелической зоны, а P—площадь озера.

(45) Показатель площадной изоцентричности, выражающий отношение площадей отдельных изоцентрических зон озера к общей площади озера. Показатель этой величины выражается в %% к площади озера и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{P_n^c \cdot 100}{P},$$

где $P_n^c$—площадь n-ой изоцентрической зоны, а P—площадь озера.

Обе последние величины помещенные для каждой отдельной зоны могут быть для озера в целом даны в виде кривой, на оси ординат которой отложены расстояния между изотелами или изоцентрами, а на оси абсцисс—соответствующие показатели. Такая кривая изотелических площадных показателей названа Rohrbach'ом (43) хореографической кривой. Для кривой же изоцентрических площадных показателей не будем пока давать особого названия.

Аналогично с указанными показателями может быть вычислен показатель характеризующий отношение длины каждой изоцентрической линии к сумме изоцентрических линий данного озера—это будет

(46) 5. Показатель линейной изоцентричности данной изоцентрической зоны. Он выражается в виде $^0/_0$ отношения и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{L^c_n \cdot 100}{L^c_s},$$

где $L^c_n$—длина изоцентрической линии данной зоны, а $L^c_s$ — сумма длин изоцентрических линий озера.

Наконец, есть еще одна величина, идея которой указана Бобриком (6), которая несомненно относится к рассматриваемой группе и имеет существенное значение для характеристики особенностей очертания озера: это

(47) отношение длины изотелы внешней к длине изотелы внутренней.

Особенно характерная величина получается при определении отношения длины береговой линии к длине первых изотел—далее отношение это сразу падает в абсолютных своих величинах приближаясь к некоторой постоянной величине к центру ядра.

Если отношения эти изобразить в виде особой кривой, по оси которой отложим расстояния между изотелами, а по оси абсцисс—размер показателей—то эта кривая, которой мы не решаемся пока дать особое название будет достаточно характеризовать индивидуально каждое озеро.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Все величины, характеризующие очертания озер в целом могут быть перенесены и на сечения соответствующие любой глубинной зоне озера. Для каждой из зон мы получим характерные величины. Эти величины, полученные для разных глубинных зон могут быть изображены в виде кривой, если по оси ординат нанести глубины, а по оси абсцисс соответствующие значения данной величины; можно также различать максимальные, минимальные, средние и суммарные значения для каждой величины.

(48) Кроме того, площади изобатных поверхностей могут быть характеризованы показателем их значения который выражается в $^0/_0{}^0/_0$ отношении площади между данной изобатой в

проекции на поверхность озера к площади озера в целом. Показатель вычисляется по формуле:

$$\frac{P_n \cdot 100}{P},$$

где $P_n$ — площадь между данными изобатами, а $P$ — площадь озера.

## 3) Величины развития.

Ряд величин, относящихся к этой группе и характеризующих абсолютные величины каждого данного озера по отношению к нормальным величинам данного озера, может быть разбито на группу величин, характеризующих отдельные участки горизонтального и вертикального его расчленения.

### а) Озеро в целом.

Мы видели выше, что в качестве нормального очертания площади по отношению к которому нужно определить развитие площади данного озера должен быть круг.

В зависимости, однако, от цели для которой это развитие определяется, диаметр этого круга может быть различен: можно определять развитие площади озера по отношению к той площади, которую оно бы имело, если бы очертания этой площади были окружностью, но длина этой окружности была бы равна длине береговой линии озера—это будет общее развитие площади озера.

Можно определять развитие площади озера по отношению к той площади, которую оно бы имело, если бы при данных своих величинах большой и малой оси—занимало максимальную возможную нормальную площадь: таковой будет площадь наименьшего круга описанного вокруг озера, а отношение площади озера к этому кругу будет максимальным развитием площади озера.

Можно определять развитие площади озера по отношению к той площади, которую оно имело бы если бы при данных особенностях своего очертания занимало бы наименьшую возможную нормальную площадь; таковой будет площадь наибольшего круга вписанного в озеро и отношение площади озера к площади этого круга будет минимальным развитием площади озера.

Мы видим, что две последние величины предусматривают отношение площади озера к площади некоторых вписанных и описанных фигур. Вопрос об этих отношениях уже издавна разрабатывался в ли-

тературе, а потому прежде чем итти дальше нам необходимо остановиться на критическом разборе сделанных предложений.

Рассмотренные нами только что отношения площадей озера к площади вписанного и описанного круга были впервые предложены Ehrenburg'ом (11). Площадь описанного круга наименьшего радиуса называется Block, а по терминологии, предложенной А. А. Бобриком (6) „район". Площадь-же, которую имеет вписанный круг наибольшего возможного радиуса называется Rumpf или, по терминологии предложенной А. Бобриком (6)—„остов или ядро"—условимся называть его „ядром". По отношению к этим кругам и определяются характерные для фигуры водоема отношения.

Кроме того, предложен еще метод Ritter'a (40) и Günther'a (6) которой недавно был заново разработан А. А. Бобриком (6) и состоит в том, что вокруг данного водоема описывается выпуклый полигон минимальной площади так, что контур его является касающимся извне самой фигуры водоема (или сливается с ним)—это район, соответствующий аналогичному Эренбурговскому понятию описанного круга. Кроме того, в контур водоема вписывается выпуклый полигон максимальной площади так, что контур его является касающимся (изнутри) контура самой фигуры водоема (или сливается с ним). Этот полигон аналогичен вписанному кругу Эренбурга и называется также ядром.

Заменяя метод описанных и вписанных кругов, предложенный Эренбургом, методом описанных и вписанных полигонов, А. А. Бобрик (6) указывает на следующие преимущества последнего:

„Метод Эренбурга дает слишком бедную индивидуальную характеристику данной фигуры, будучи мало гибким в отношении применения к действительным формам ее горизонтального простирания. Метод Эренбурга, видоизмененный в смысле придания соответствующим формулам иного алгебраического вида мог бы быть вполне законно применен для географических целей, если бы не было другого способа, более гибкого и точного и служащего для тех же самых целей".

Мы никак, однако, не можем согласиться с тем, чтобы метод полигонов имел преимущества над методом кругов ни с теоретической, ни с практической точки зрения и по следующим соображениям:

1) Мы сказали уже выше, что наиболее простым, нормальным для всякого замкнутого водоема очертанием является круг, а потому естественно всякое иное очертание водоемов сравнивать именно с очертанием круга. Радиус кругов, с которыми естественно сравнивать каждое данное очертание водоема может быть двоякий, а именно: наибольшего вписанного и наименьшего описанного круга, при чем описан-

ный и вписанный круг—суть пределы, между которыми возможно представить себе изменения размеров площади озера при данных линейных его размерах; описанный круг соответствует максимальной нормальной площади и в то же время минимальному нормальному очертанию, а вписанный круг—минимальной нормальной площади и в тоже время минимальному очертанию озера, опять таки при данных конкретных особенностях озера.

Что же касается полигонов, то они являются формами совершенно искусственными, не связанными вовсе ни с какими естественными предельными площадями и очертаниями.

2) Введение полигонов искажает самое представление о горизонтальной деформации водоема. Деформация, т. е. уклонение от какой-то нормальной, естественной формы, может быть равной нулю, отсутствовать, лишь в том случае, когда форма водоема нормальна, а это может быть лишь в том случае, когда она—правильный круг; так это и будет в случае применения метода Эренбурга; если же мы будем пользоваться полигонами, то получим, что горизонтальная деформация

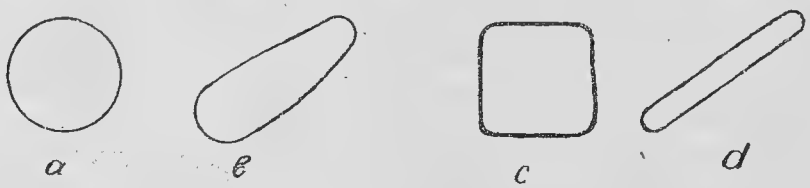


Рис. 25 a—d.

равна 0, не только тогда, когда очертания водоема—круг, а всякий раз, когда фигура выпукла. Сам Бобрик (6) это подчеркивает и пишет, что „расчлененность, изрезанность и горизонтальная деформация любой выпуклой фигуры (а не только круга) равна нулю". Мы ни в коем случае не можем признать, что любая форма водоема, лишь бы она была выпукла является нормальный, т. е. охарактеризованной нулевыми коэффициентами уклонения от этой нормальной формы.

По методу полигонов—горизонтальная деформация фигуры водоема будет равна нулю, для всех изображенных на рис. 26 a—d очертаний озер.

Все эти водоемы будут охарактеризованы абсолютно одинаковыми морфометрическими величинами при единственном условии, чтобы площади вписанных и описанных полигонов в этих водоемах были-бы соответственно равны.

Метод вписанных и описанных кругов для всех фигур данных на рис. 25 a—d, дает различные величины горизонтальной деформации.

Единственная фигура, которая будет по методу кругов характеризоваться нулевыми показателями горизонтальной деформации является круг, а уже эллипс явится деформированным кругом.

3) Для целей, которые преследует сравнительная морфология озер необходимо, чтобы все сравниваемые величины были бы выражены в единицах указывающих отклонение от одной какой-либо формы; в противном случае полученные величины неэквивалентны, несравнимы друг с другом. Такой единой формой, с которой можно сравнивать формы отдельных водоемов может быть лишь круг, как единая для всех сравниваемых случаев форма.

Если же пользоваться методом полигонов, то что ни водоем то своя фигура вписанного и описанного полигона—и все полученные данные делаются, благодаря этому несравнимы. Если пользуясь методом полигонов мы получаем для каких-либо двух водоемов одинаковые морфометрические величины, характеризующие их фигуры, то из этого не будет значить, что их фигуры действительно одинаковы, так как нет той третьей общей для них фигуры, путем сравнения с которой определяется сходство и различие двух первых по простой аксиоме, что две величины порознь равные третьей равны между собою. Из этого следует, что метод полигонов не удовлетворяет требованиям морфометрии сравнительной, так как дает несравнимые величины.

4) Метод полигонов дает мало характерные для водоема величины; дело в том, что при некоторых контурах, очень небольшие изменения в контуре влекут за собою очень большие изменения в площади описанных полигонов; если мы представим себе ряд водоемов с постепенно изменяющимися контурами, то вследствие некоторого незначительного изменения в контуре водоема может произойти резкое изменение в размере площади вписанного полигона и все величины, основанные на размере вписанного полигона будут иметь резкий скачок в размерах, совершенно отсутствующий в форме водоема; это неравномерное изменение морфометрических величин, которым характеризуется иной раз равномерное изменение морфологии водоема, также должно быть отнесено к дефекту метода.

В случае применения вписанных кругов Эренбурга — таких скачков в изменении площадей вписанного круга быть не может.

Что касается замечания А. А. Бобрика о том, что „полигон представляет собою фигуру более гибкую и способную при очерчивании или вчерчивании его в любой сложный контур приспособиться к виду этого контура, возможно теснее к нему извне, так и изнутри“ — (6) стр. 92) то оно, конечно, правильно, но для целей характеристики фигуры водоема является скорее свойством отрицательным, нежели положительным, т. к. скрадывает характерные особенности этой фигуры.

В этом мы можем убедиться на следующем примере.

Положим, что мы имеем два контура водоема равной площади, один широкий, другой вытянутый (рис. 26 a и b); по методу полигонов горизонтальная деформация обеих фигур может быть одинаковой, тогда как несомненно, что деформирована гораздо больше вытянутая фигура и это прекрасно отражается при исчислении горизонтальной деформации методом Эренбурга. Из этого еще вытекает и то следствие, что метод полигонов вообще не годится для характеристики фигуры водоема.

При таких построениях вписанных полигонов и кругов в различные контуры, мы не можем даже сказать, что полигон более характеризует площадь озера, т. к. есть такие контуры, при которых вписанные полигоны занимают столь же незначительную (относительно) часть общей площади озера, как и вписанные круги.

Переходя сейчас к практической стороне—удобству и быстроте построения кругов или полигонов, должен сказать, что все преимущества на стороне опять таки кругов Эренбурга.

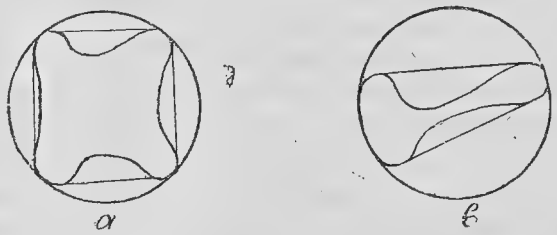


Рис. 26 a и b.

Пользуясь прозрачной восковкой, на которую нанесены концентрические окружности разных радиусов и совмещая ту или иную из этих окружностей с разными точками озера, сравнительно очень легко и быстро можно построить как описанный, так и вписанный круг, тогда как при применении метода полигонов необходимо бывает сплошь и рядом для каждого видоизменения контура полигона производить подсчет его площади, чтобы остановиться на полигоне наибольшей (resp. наименьшей) площади. Кроме того, самое определение площадей кругов производится вычислением по радиусу, тогда как для определения площадей полигонов нужно непосредственное измерение этих площадей—одним из длительных методов.

Помимо всех этих соображений теоретического и практического характера, метод кругов еще предпочтительнее потому, что позволяет ввести ряд дополнительных весьма полезных для характеристики индивидуальных особенностей очертаний каждого водоема понятий:

а) радиус очерченного круга, б) радиус вчерченного круга в) средний радиус озера, г) центр очерченного круга, д) центр вчерченного круга, е) степень смещения центров очерченного и вчерченного круга; все эти величины отсутствуют в случае применения метода полигонов.

Исходя из всего изложенного о сравнении двух методов характеристики фигуры водоема путем сравнения ее площади с площадью вписанных и описанных фигур, мы останавливаемся на методе кругов Эренбурга.

Обращаюсь теперь снова к величинам, характеризующим развитие площади озера. Мы будем среди них различать:

(49) Показатель общего развития. Определяется отношением площади озера к площади круга, имеющего окружность, равную длине береговой линии озера. Показатель этот выражается в $^0/_0{}^0/_0$ к площади озера.

Вычисляется он по формуле:

$$\frac{P^0 . 100}{P},$$

где P — площади озера, а $P^0$ — площади круга, имеющего окружность, равную длине береговой линии озера. Эта величина может быть выражена через длину береговой линии по следующей формуле:

$$P^0 = \frac{L_0{}^2}{4\pi},$$

где $L_0$ — длина береговой линии.

Показатель развития площади будет равен 100, если озеро будет иметь очертание круга, все-же уклонения от этого очертания будут охарактеризованы своими значениями показателей.

(50) Показатель максимального развития площади озера определяется отношением площади наименьшего очерченного вокруг озера круга к площади озера. Это та величина, которая по Penck'у (32) называется „Blockgliederung", по Бобрику (6)—„изрезанность озера". Мы предпочитаем, однако, называть ее иначе, связав таким образом, эту величину с общим понятием о развитии площади. Выражается эта величина в виде разности площади района и озера и в $^0/_0$ к площади озера может быть вычислена по формуле:

$$\frac{(P - P^r) . 100}{P},$$

где $P^r$ — площадь района, а P — площадь озера.

Показатель будет равен 0 в случае, если площадь озера будет равна площади района, т. е. площадь озера будет иметь тогда макси-

мальное значение. Чем размер площади озера будет больше отличаться от площади района, тем больше будет значение показателей, которые будут пропорциональны уклонению площади озера от нормальной максимальной площади ей соответствующей; уклонение это в сторону дефицита и будет указано отрицательными значениями показателей.

(51) Показатель минимального развития площади озера — определяется отношением площади ядра к площади озера; эта величина равна „Rumpfgliederung" Ehrenburg'a (11) и „расчленению озера" по Бобрику (6), но опять-таки предлагаем назвать ее так, чтобы она была связана с общим понятием о развитии.

Показатель выражается разностью площадей ядра и озера в $^0/_{00}$ к площади озера и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(P - P^b) \cdot 100}{P}$$

где $P^b$ — площадь ядра а $P$ — площадь озера.

Показатель будет равен 0 в случае, если площадь озера будет равна площади ядра, т. е. это и будет минимальной площадью. Уклонение от минимальной площади будет равно 0; все же прочие значения показателей будут указывать на степень уклонения площади озера от минимальной ее величины, при чем показатели будут всегда с положительным знаком.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

За нормальное распределение площадей озера на всем его протяжении мы, естественно, должны принять то распределение, которое существует в круге.

Проведем из центра вписанного наибольшего круга (ядра) окружность такого радиуса, чтобы она касалась наиболее удаленной от центра ядра точки контура озера; радиус такой окружности разделим на произвольное, но равное число частей и проведем окружности соответствующие каждому делению радиуса. Отрезки этих окружностей, проходящие по поверхности озера — будут изоцентрическими линиями озера (см. выше), а площади поверхности озера, замкнутые между соседними изоцентрическими линиями будут площади изоцентрических зон данного озера (см. выше).

Для характеристики распределения площади озера в пространстве, относительно центра ядра озера — весьма характерны будут величины, характеризующие развитие изоцентрических линий и площадей относительно соответствующих им размеров величин такого круга. Мы будем различать:

(52) Показатель развития изоцентрических линий озера. Он определяет отношение длины каждой изоцентрической линии к длине полной окружности равного ей радиуса. Показатель выражается в виде разности длины окружности и длины изоцентрической линии в $^0/_{00}$ и может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(C^c{}_n - L^c{}_n)\,100,}{C^c{}_n}$$

где $C^c{}_n$ — длина полной окружности, соответствующей n-ой изоцентрической линии, а $L^c{}_n$ = длине n-ой изоцентрической линии; $C^c{}_n$ может быть выражена формулой $2\pi r^i{}_n$, где $r^i{}_n$ = радиусу полной изоцентрической линии.

Показатель равен $100^0/_0$, если длина изоцентрической линии равна длине окружности равного ей диаметра, а все остальные значения показателей от 0 до $100^0/_0$—будут означать различные степени развития данной изоцентрической линии.

Если получить для всех изоцентрических линий озера свои показатели, то отложив по оси ординат расстояния от центра ядра, а по оси абсцисс — показатель изоцентрических линий, получим кривую распределения показателей развития изоцентрических линий озера или кривую развития изоцентрических линий озера.

Кривая эта будет весьма показательна для характеристики распределения площади озера.

(53) Показатели развития изоцентрических зон площадей озера.

Показатели эти выражают отношение площади каждой изоцентрической зоны к площади замкнутого кольца, очерченного окружностями соответствующих радиусов. Каждый такой показатель может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(P_n{}^r - P_n{}^c).\,100,}{P_n{}^r}$$

где $P_n{}^r$ —площадь кольца ограниченного n и n + 1 изоцентрическими линиями, $P_n{}^c$ — площадь изоцентрической зоны озера между n-ой и n + 1 изоцентрическими линиями.

$P_n{}^r$ может быть выражена формулой: $\pi r^{i2}{}_n - \pi r^{i2}{}_{n+1}$, где $r_n{}^i$ — радиус n-ой изоцентрической линии, а $r^i{}_{n+1}$ радиус n + 1 изоцентрической линии.

## C. Морфометрические величины, характеризующие массы воды озера.

Водные массы озера могут быть охарактеризованы их объемом и распределением этого объема в горизонтальном и вертикальном направлении, с одной стороны, и рельефом дна озера, как поверхности, ограничивающей водные массы, с другой стороны. Рассмотрим морфометрические величины, характеризующие объемы и рельеф дна озера в отдельности.

### Объем водных масс озера.

Объем водных масс озера может быть охарактеризован величинами абсолютными, относительными и величинами развития объемных величин озера по отношению к нормальному их для озера значению. Рассмотрим их в отдельности—сперва в применении к озеру в целом, а затем, по отношению к участкам горизонтального и вертикального расчленения озера.

### I. Абсолютные величины.

#### a) Озеро в целом.

(54) Объем озера. Абсолютные величины объема водных масс озера в целом измеряются определенным числом объемных единиц.

#### b) Участки горизонтального и вертикального расчленения озера.

Прежде всего, мы можем различать объемы отдельных обособленных участков озера, объем суммы этих обособленных участков, из разности объема озера и суммы объемов обособленных участков—получим объем остова озера. Кроме того, можно различать объем отдельных характерных в каком-либо отношении участков озера. Наконец, мы будем различать: объемы изотелических зон озера, т. е. объем водных масс озера, заключающихся под поверхностью изотелических зон. В вертикальном направлении мы будем, прежде всего, различать объемы отдельных глубинных зон озера, а затем объемы эпи, мета и гиполимниона.

## 2. Величины отношений.

### а) Озеро в целом.

Здесь мы остановимся прежде всего на понятии о глубинности озера.

Глубинность озера в нашем понимании не совпадает с понятием о глубине озера. Глубина—это линейное протяжение озера в направлении перпендикулярном его поверхности, а глубинность—есть отношение глубины озера к величине, характеризующей размер его водной поверхности [1]).

Для характеристики глубинности предложено было два отношения

a) Форель (13) предлагал брать отношение наибольшей глубины озера к корню квадратному из площади озера. (Он называет эту величину относительной глубиной озера).

b) Penck (33) предлагал брать отношение наибольшей глубины к радиусу круга равновеликого площади озера.

Брать ли радиус круга или сторону квадрата (ибо это и есть $\sqrt{}$ из площади озера) равновеликих площади озера, собственно все равно; и та и другая величина являются характеризующими площадь; мы предпочитаем взять радиус равновеликого круга, потому что эта величина нам все равно нужна также и для других целей (см. развитие береговой линии).

В зависимости от того, какую глубину (наибольшую или среднюю) мы возьмем для установления отношений, определяющих глубинность озера—мы будем различать две величины:

(55) Показатель абсолютной глубинности озера—этот показатель определяется отношением средней глубины озера к радиусу круга равновеликого площади озера[2]); для удобства возьмем обратное отношение:

$$\frac{R}{H_m},$$

где $R$ = радиус равновеликого площади озера круга, $H_m$ — средняя глубина озера.

---

[1]) Мы не можем согласиться с тем смешением понятий глубины и глубинности, которое имеется в работе П. Ф. Домрачева—„К вопросу о классификации озер Северо-Западного края". Изв. Гос. Гидролог. Института. 1922; т. 4, стр. 1—43.

[2]) Само по себе отношение $\frac{H_{mx}}{R}$ равно уклону основного конуса озера (см. ниже).

(56) Показатель относительной глубинности озера. Этот показатель определяется отношением наибольшей глубины озера к радиусу круга равновеликого площади озера. Возьмем опять-таки для удобства отношение обратное:

$$\frac{R}{H_{mx}},$$

где $H_{mx}$ — максимальная глубина озера, R — радиус круга равновеликого площади озера.

Ввиду того, что показатель абсолютной глубинности гораздо полнее характеризует собою отношения в озере—мы будем пользоваться именно им при установлении некоторых градаций глубинности.

Если средняя глубина озера равна радиусу равноплощадного круга—показатель абсолютной глубинности озера равен 100% — это будет крайний предел развития глубинности. В исключительных случаях: провала, искусственных водоемов показатель этот может быть и больше 100%, но такие водоемы мы будем считать переуглубленными. Что касается промежуточных величин показателя, то здесь могут быть установлены любые градации, которые нормировать еще преждевременно.

(57) Показатель емкости озера, в зависимости от форм рельефа озерного ложа, при равных площадях поверхности и равных максимальных глубинах озера могут иметь соответственно различный объем заключенных в них водных масс—различную емкость.

Величина емкости озерных ванн позволяет по выражению Halbfass'a (20), судить „не только относительно, но и абсолютно является ли один водоем „wasserreicher", чем другой". Для суждения о емкости озер мы предлагаем:

Показатель емкости, который выражает отношение средней глубины озера к его максимальной глубине.

Это отношение мы выражаем в виде в %% к максимальной глубине; для вычисления можно пользоваться следующей формулой:

$$\frac{H_m \cdot 100}{H_{mx}}$$

где $H_{mx}$ — максимальная, а $H_m$ — средняя глубина озера.

Показатель емкости озера позволяет установить все возможные степени емкости. Когда он равен 100%, мы будем считать, что емкость озера максимальная — это будет в том случае, когда максимальная глубина равна средней глубине; все же остальные случаи от 0% до 100% расположатся в определенной последовательности. Ввиду недо-

статочности накопленного материала мы считаем в настоящее время еще несвоевременным установление для емкости каких-либо условных степеней.

(58) Отношение объема озера к его площади или, иначе говоря, определение числа кубических единиц воды, приходящихся на единицу поверхности озера. Эта величина есть не что иное, как средняя глубина озера. На средней глубине, не отражается влияние размеров водоема, почему малый пруд и большое озеро могут быть охарактеризованы одной и той же средней глубиною.

Величина, выражающая отношение средней глубины к размерам озера выражается в свою очередь через радиус равновеликого площади озера круга, нами уже рассматривалось выше—это абсолютная глубинность озера, которую мы выразили выше в обратном отношении.

(59) Показатель поверхностной доступности озера. Если мы для характеристики протяжения поверхаости водоема, по отношению к которому мы ищем отношение средней глубины длину его береговой линии, как величину, характеризующую не размер площади, а ее очертания, то получим особого рода величину, которую можно назвать поверхностной доступностью озера. Если взять отношение этих величин в $^0/_0{}^0/_0$ к средней глубине, то мы получим показатель поверхностной доступности озера. Его можно вычислить по формуле:

$$\frac{H_m \cdot 100}{L_0},$$

где $H_m$ — средняя глубина, $L_0$ — длина береговой линии. Чем больше длина береговой линии, тем показатель этот будет меньше, если даже площади останутся одинаковыми.

(60) Показатель объемной (глубинной) доступности озера. Показатель этот выражает отношение объема озера к длине его береговой линии; иначе говоря, им выражается объем водных масс озера, приходящийся на единицу протяжения его береговой линии. Эта величина, несомненно, имеет лимнологическое значение, так как с увеличением длины береговой линии при одном и том же объеме—увеличивается соприкосновение водных масс с берегом—увеличивается влияние берега и дна на водную массу. С другой стороны, это отношение имеет и некоторое практическое значение, так как чем больше эта величина, тем больше доступность берегов озера в глубинном отношении, что делается особенно ясно, если в отношении $\frac{V}{L_0}$ заменить V через его выражение через $H_m \cdot P$, т. е. среднюю глубину на площадь — тогда получится: $\frac{H_m \cdot P}{L_0}$, т. е. выступает зависимость от средней глубины озера.

(61) Показатель мощности озера. Если показатель, выражающий зависимость между объемом озера и его площадью умножить на показатель, выражающий зависимость между объемом озера и длиной его береговой линии, то мы получим новый показатель, выражающий зависимость объема и от площади и от длины береговой линии, при чем этот показатель будет выражен в единицах объема; он может быть вычислен по формуле:

$$\frac{V}{P} \cdot \frac{V}{L_0} = \frac{V^2}{P \cdot L_0} = \frac{H^2_m \cdot p^2}{P \cdot L_0} = \frac{H^2_m \cdot P}{L_0}$$

где V — объем озера, P — площадь поверхности озера, $L_0$ — длина береговой линии, а Hm — средняя глубина озера.

П. Д. Резвой (37-а) иным путем подошел к выводу полученной нами величины и назвал ее — мощностью озера; это название мы и оставляем, при чем будем говорить о показателе мощности озера.

Кроме рассмотренных величин, характеризующих отношения объема озера к ряду других характерных для озера величин, имеются еще несколько величин, которые, однако, уже не являются существенными в лимнологическом отношении, так:

a) отношение объема озера к его средней глубине, в результате подстановки в формулу, выражающую это отношение выражение объема через среднюю глубину и площадь получится просто величина площади озера.

c) отношение объема озера к его максимальной глубине. Если в формулу этого отношения подставить выражение объема через среднюю глубину и площадь, то получим формулу $\frac{H^m \cdot P}{H_{mx}}$ отношение же средней глубины к максимальной — есть ни что иное, как емкость озера, нами уже рассмотренная, а помножение показателя емкости на площадь — несомненно ничего не добавит к характеристике морфологии озера.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

Вопрос о морфометрической характеристике горизонтального распределения объемов водных масс в озере является, пожалуй, наименее разработанным из всех отделов морфологии; между тем, именно горизонтальное распределение объемов является чрезвычайно важным для целого ряда свойств озер, а потому требует и в целях сравнительной морфометрии особо полной характеристики.

Среди морфометрических величин, характеризующих горизонтальное распределение объемов озера мы будем различать следующие:

(62) Показатель объемной разветвленности озера. Для того чтобы величины, выражающие горизонтальное распределение объемов озера были более всего характерными и позволили бы производить сравнение их в разных озерах, необходимо, чтобы, с одной стороны, участки озера, для которых производится определение объемов были характерны для озера, с другой же стороны, чтобы в различных озерах они могли бы быть выделены аналогичным способом.

Первым таким характерным для озера участком явится та часть водной массы озера, которая находитси под его остовом (см. выше) т. е. масса вод озера—без всех его обособленных участков. Столь же характерен и объем вод, которыми характеризуются как отдельные обособленные участки озера (плесы и заливы) в отдельности, так и все они вместе взятые.

Далее, характерно отношение между объемом вод озера, находящихся под остовом озера и объемом вод, находящихся в совокупности его обособленных участков. Это отношение, конечно, может быть совершенно иным, чем отношение между площадями поверхности остова озера и суммы площадей его обособленных участков. Показатель, выражающий это отношение, выраженный в $^0/_0{}^0/_0$ отношении объема различных этих объемов к общему объему озера—мы можем назвать показателем объемной разветвленности озера; он будет вычисляться по формуле:

$$\frac{v^s . 100}{V}$$

где V—объем у озера в целом, а $v^s$ = объем суммы обособленных участков озера.

Среди разных величин объемной разветвленности озера, определяемых разными значениями показателей мы будем различать:

1) малую объемную разветвленность при значении показателей от 0 до $25^0/_0$.

2) среднюю объемную разветвленность, когда показатель равен или более $25^0/_0$, но менее $50^0/_0$,

3) большую объемную развлетвленность, когда показатель равен или более $50^0/_0$, но менее $75^0/_0$,

4) очень большую объемную разветвленность, когда показатель равен или больше $75^0/_0$, но менее $100^0/_0$.

Вполне возможен и такой случай, когда объем вод в сумме обособленных участков озера будет больше объема вод, находящихся под его остовом; тогда показатель объемной разветвленности озера будет

более 100%—и этот случай мы будем называть обратной объемной разветвленностью озера.

(63) Показатель значимости объемов изотелических зон озера. В главе о поверхности озера мы встречались уже с изотелами или линиями, равноотстоящими от берегов озера и проведенными по его поверхности. Если мы проведем по поверхности озера несколько изотел на равных расстояниях друг от друга, то площади заключенные между этими изотелами будут, как мы видели уже выше, характеризовать собою изотелическое распределение площади по поверхности озера. Если мы сейчас определим объем, озера, находящиеся под поверхностью площадей, заключенных между соседними изотелами то мы и получим цифры, выражающие в абсолютных единицах горизонтальное распределение объемов озера. Если мы выразим эти величины в %% к общему объему озера, то и получим показатели значимости объемов изотелических зон озера, т. е. объемов находящихся под изотелическими площадями. Показатели вычисляются по формуле $\frac{V^i_n . 100}{V}$, где V—общий объем озера, а $V^i_n$—объем n-ой изотелической зоны.

Если на оси ординат отложить расстояния через которые проведены по поверхности озера изотелы, а по оси абсцисс—показатели значимости объемов изотелических зон озера, то мы получим кривую распределения изотелических объемов, выражающую горизонтальное распределение объемов в озере.

Показатель изотелических объемов может быть:

а) общий, когда он определяется для озера в целом,

в) частный—когда определяется для отдельных характерных для озера участков, при чем сравнение этих показателей между собою может производиться подобно тому, как мы это описывали выше для гипсографических коэффициентов.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Вопрос о вертикальном распределении водных масс в озере имеет очень большое значение для лимнологической характеристики озер, как как связан ближайшим образом с целым рядом особенностей озера. Тем не менее, вопрос о морфометрической характеристике этого распределения еще очень мало разработан в литературе.

Мы будем различать следующие величины:

(64) Гипсографические показатели. Когда для каждого глубинного слоя получена определенная величина объема водных масс, в нем заключенных, то картина вертикального распределения объема водных масс в озере делается совершенно ясной.

Для целей сравнительной морфологии, однако, необходимо выражать вертикальные распределения объемов в озере не в абсолютных величинах, а в $^0/_0{}^0/_0$ отношениях к общему объему озера. Эти $^0/_0{}^0/_0$ величины, характеризующие отдельные глубинные зоны озера, мы будем называть гипсографическими показателями. Они вычисляются по формуле:

$$\frac{V_n \cdot 100}{V},$$

где $V_n$ — объем n-ой глубинной зоны, а V—объем озера.

Если по оси ординат отложить глубинные зоны, а по оси абсцисс гипсографические показатели, то получится выражение—гипсографической кривой, которое для целей сравнительной морфологии является наиболее правильным ее выражением.

Гипсографические показатели могут быть получены как для озера в целом, так и для отдельных его участков; в связи с этим будем различать

a) общие гипсографические показатели, характеризующие отдельные зоны озера в целом и b) частные гипсографические показатели, характеризующие глубинные зоны отдельных участков озера. Так можно получить показатели для отдельных плесов озера, выразив их в $^0/_0{}^0/_0$ к объему данного плеса; далее, можно получить гипсографические показатели для отдельных заливов и, вообще, обособленных участков озера и, кроме того, можно охарактеризовать всю сумму обособленных участков озера, выразив их в $^0/_0{}^0/_0$ к сумме объемов этих участков; наконец, можно характеризовать гипсографическими показателями часть водной массы, находящуюся под остовом озера.

## 3. Величины развития.

Эти величины определяют собою отношение объема озера в целом или его участков к нормальному объему для каждого данного озера или его участка.

Мы видели уже выше, что таким нормальным объемом будет объем основного конуса данного озера.

### a) Озеро в целом.

Развитие объема озера в целом мы будем характеризовать:

(65) Показателем общего развития объема озера. Мы сказали, что развитием объема озера называется отношение фак-

тического наблюдаемого нами в озере объема к нормальному объему, т. е. к объему основного конуса озера. Это отношение предложено Peucker'ом (36) и Penck'ом (33), при чем Peucker предложил различать вогнутое озерное ложе в случае, если объем озера больше объема основного конуса озера и выпуклое озерное ложе в случае, если объем озера меньше объема основного конуса.

Для аналогичных целей, А. А. Бобриком (6) предложены были несколько иные отношения, а именно он сравнивает величину наибольшей глубины озера с высотою конуса, имеющего объем, равный объему озера при основании в виде круга равновеликого площади поверхности озера.

Если высота этого конуса меньше наибольшей глубины озера, то, по терминологии А. А. Бобрика, значит, что озеро будет иметь „положительный показатель псевдоконусоидальности озера"—это будет случай аналогичный вогнутому озерному ложу по Peucker'у;—если высота конуса больше наибольшей глубины озера, что по терминологии А. А Бобрика, значит, что озеро будет иметь „отрицательный показатель псевдоконусоидальности озера"—это будет случай аналогичный выпуклому озерному ложу по Peucker'у. Кроме того, А. А. Бобрик называет озеро с вогнутым ложем глубоководным, а озеро с ложем выпуклым—мелководным. Мы не можем, однако, согласиться с этой последней терминологией, так как выпуклость и вогнутость ложа никакого отношения к глубинности озера не имеют и за этими понятиями мы оставляем уже выше формулированные определения.

Терминология рассматриваемых отношений, установленная Peucker'ом отражает не отношения объемов озера к другим величинам, а рассматривает эти отношения с точки зрения рельефа дна, а потому является для наших целей неприемлемой. Не можем мы согласиться и с терминологией А. А. Бобрика, выдвинувшего метод работы на первый план. Мы предпочитаем воспользоваться терминологией, установленной Л. Россолимо (44) и тем же А. А. Бобриком (6), которые говорят о развитии объема озера, хотя последний и употребляет для определения развития объема озера метод вписанных и описанных многоугольников, который мы не применяем.

Развитие объема озера выражается показателем, который может быть вычислен по следующей формуле, выражающей его в $^0/_0{}^0/_0$ отношении алгебраической разности объема озера и объема основного конуса к объему основного конуса.

$$\frac{(V - W) . 100}{W}$$

где V—объем озера, W—объем основного конуса.

Для вычисления объема основного конуса (W) можно пользоваться формулой:

$$W = \frac{P \cdot H^{mx}}{3}$$

где P — площадь поверхности озера, $H^{mx}$ — максимальныя его глубина; комбинация же этих формул дает следующую:

$$\frac{\left(V - \frac{PH_{mx}}{3}\right) \cdot 100}{\frac{PH_{mx}}{3}}$$

Если объем озера больше объема основного конуса, показатель развития объема озера будет с положительным знаком — мы будем иметь случай положительного развития объема озера.

Если объем озера меньше объема основного конуса — показатель развития объема озера будет с отрицательным знаком — мы будем иметь случай — отрицательного развития объема озера.

Если объем озера будет равен объему основного конуса, озера показатель его развития будет равен нулю, — мы будем иметь случай нормального развития объема озера.

Мы можем даже установить и некоторую классификацию положительного и отрицательного развития объемов озера в зависимости от различных величин показателей; так:

a) если показатель развития объема озера более 0, но менее 25%—мы будем говорить о слабом развитии объема озера (положительном или отрицательном);

в) если показатель равен или более 25%, но менее 50%—условимся называть такое развитие объемов средним;

c) если показатель равен или более 50%, но менее 75%, то условимся такое развитие объемов считать сильным и наконец,

d) если показатель равен или более 75%, и, доходит до 100%, то условимся считать такое развитие объемов очень сильным.

### в) Участки горизонтального и вертикального расчленения озера.

Каждый из характерных участков озера или каждый морфологически обособленный его участок можно охарактеризовать своим развитием объема, пользуясь методами, применяемыми для озера в целом; далее, возможно охарактеризовать максимальными, минимальными и средними величинами развития объемов сумму морфологически обособленных участков озера. Наконец, возможно охарактеризовать вели-

чинами развития объемов изотелические и глубинные зоны озера и эти последние величины имеют особо важное лимнологическое значение, так как сопоставление полученных для всех отдельных зон озера величин дает наиболее полную характеристику вертикального и горизонтального распределения объемов водных масс озера.

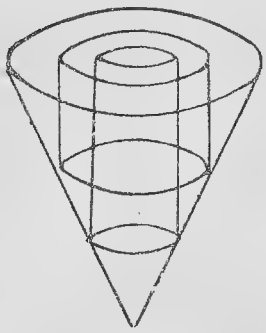

Рис. 27.

Будем здесь различать:

(66) Показатели развития изотелических зон озера. Нормальным объемом каждой изотелической зоны озера будет объем соответствующей зоны основного конуса озера.

Представим себе, что радиус круга равновеликого площади озера, являющегося основанием основного конуса озера, разделен на число частей, равных числу изотел, проведенных в данном озере (рис. 27) через каждую точку деления радиуса проведена окружность; перпендикулярно к площади круга проведены по этим окружностям плоскости, делящие конус на несколько тел. Объемы этих участков конуса смогут быть определены по следующим формулам:

Для внутреннего тела:

$$W^{i}_{10} = \pi \cdot \left(\frac{R}{10}\right)^2 \cdot H_{mx} \cdot \frac{9}{10} + \frac{1}{3}\pi \left(\frac{R}{10}\right)^2 \cdot \frac{H_{mx}}{10}$$

Для последующих:

$$W^{i}_{n} = \pi \cdot \left(\frac{n}{10} R\right)^2 H_{mx} \cdot \frac{n}{10} + \frac{1}{3}\pi \cdot \left(\frac{n}{10} R\right)^2 \cdot H_{mx} \cdot \frac{10-n}{10} -$$

$$- \pi \cdot \left(\frac{n-1}{10} R\right)^2 \cdot H_{mx} \frac{n-1}{10} + \frac{1}{3}\pi \cdot \left(\frac{n-1}{10} R\right)^2 \cdot H_{mx} \cdot \frac{10-n-1}{10}$$

где R—радиус круга равновеликаго площади озера, $H_{mx}$—наибольшая глубина озера.

Эти объемы, выраженные и абсолютных величинах дадут нормальное горизонтальное распределение объемов в основном конусе озера.

Отношение объема данной изотелической зоны озера к объему соответствующей изотелической зоны основного конуса озера и укажет нам на развитие объема данной изотелической зоны; это развитие может быть выражено показателем, выражающим $^0/_0{}^0/_0$ отношение алгебраической разности этих двух объемов к объему изотелической зоны основного конуса и вычисляется по формуле:

$$\frac{(V^i_n - W^i_n)\,100}{W^i_n}$$

где $V^{in}$—объем n-ой изотелической зоны озера, $W^i_n$—объем соответствующей зоны основного конуса озера.

Если объем данной изотелическом зоны озера больше, чем объем той же зоны основного конуса, то показатель развития объема данной изотелической зоны положителен, то мы имеем случай положительного развития объема данной изотелической зоны.

Если объем данной изотелической зоны озера меньше, чем объем той же зоны основного конуса озера, то показатели развития объема данной изотелической зоны отрицательны и мы имеем случай отрицательного развития объема данной изотелической зоны.

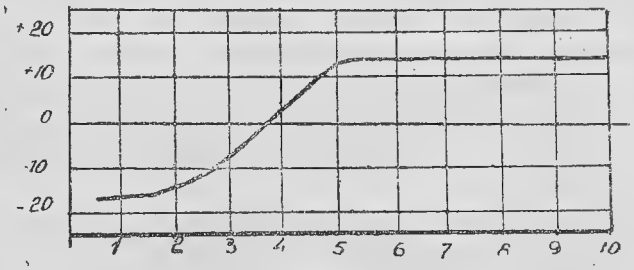


Рис. 28.

Если объемы эти равны, то показатель равен нулю и мы имеем случай нормального развития объема данной изотелической зоны.

Здесь возможно установить некоторые степени положительного или отрицательного развития изотелических зон озера,—в зависимости от размеров характеризующих их показателей; однако, ввиду необходимости предварительного накопления фактических материалов—мы затрудняемся в настоящее время дать границы, характерных пределов для этих этапов.

Если показатели, характеризующие развитие объемов отдельных изотелических зон озера изобразить в виде графика, по оси ординат которого отложены изотелические зоны, а по оси абсцисс—показатели-то получится кривая распределения показателей развития объемов изотелических зон озера.

Эта кривая будет прекрасно выражать все особенности горизонтального распределения развития объемов водной массы озера. (см. рис. 28). Выраженная не в абсолютных величинах, а в $^0/_0{}^0/_0$ отноше-

ниях она легко позволяет сравнить все особенности этого распределения в разных озерах. Кривая эта, по построению своему сходная с кривой, характеризующей вертикальное развитие объемов, о которой будет сказано ниже—позволяет также различать два основных ее типа: a) абсолютно положительного или отрицательного развития объемов озера и b) относительно положительного или отрицательного развития объемов озера (см. ниже).

Алгебраическая сумма показателей развития объемов всех изотелических зон озера—является в то же время показателем общего развития объема озера, к которому мы, таким образом, подошли со стороны горизонтального распределения объемов.

(67) Показатели развития объемов глубинных зон озера. Для того, чтобы уловить особенность вертикального распределения объемов водных масс в озере, необходимо сравнить это распределение с некоторыми другими, которые могут в силу тех или иных соображений считаться характерными, типичными, нормальными и, что особенно важно для целей сравнительно-морфологических, которое для различных водоемов было бы аналогичным, а следовательно, позволило бы производить сравнение результатов, полученных для разных озер.

По причинам, которые уже были указаны выше, за нормальное вертикальное распределение водных масс озера мы можем принять то, которое имеется в основном конусе озера. Тогда объем отдельных глубинных зон основного конуса будет нормальным объемом соответствующих глубинных зон озера. Объем каждой глубинной зоны основного конуса может быть вычислен по формуле:

$$\frac{1}{3}\pi h_n\left(R_n^2+R^2_{n-1}+R_n\,.\,R_{n-1}\right)$$

где $h_n$ — растояние между соседними изобатами, а $R_n$ и $R_{n-1}$ — радиусы n-ой и n—1-ой глубинной зоны основного конуса.

Если взять отношение объема каждой глубинной зоны озера к нормальному для нее объему соответствующей зоны основного конуса и выразить его в $^0/_0{}^0/_0$ к нормальному объему данной зоны, то получим величину, называемую нами показателем развития объема данной глубинной зоны озера.

Показатель этот может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(V_n-W_n).100}{W_n}$$

где $V_n$—объем n-ой глубинной зоны озера, $W_n$—объем соответствующей зоны основного конуса.

Если объем данной глубинной зоны озера больше объема соответствующей зоны основного конуса—показатель развития объема данной глубинной зоны положительный—мы имеем дело с положительным развитием объема данной глубинной зоны.

Если объем данной глубинной зоны озера меньше объема соответствующей зоны основного конуса—показатель отрицательный — мы имеем дело с отрицательным развитием объема данной глубинной зоны.

Наконец, если объем данной зоны озера и соответствующей ей зоны основного конуса равны — показатель равен нулю и мы имеем дело с нормальным развитием объема данной глубинной зоны.

И здесь, подобно другим случаям, возможно установить некоторые этапы развития объемов глубинных зон, в зависимости от величины их показателей, как в сторону положительную, так и отрицательную.

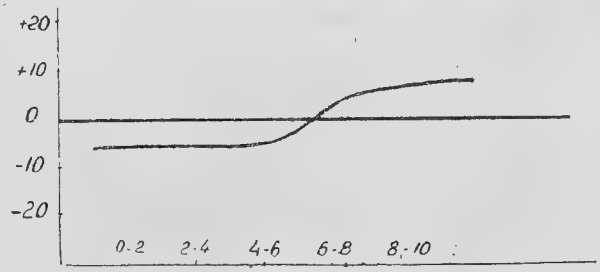


Рис. 29.

Если мы сейчас, не останавливаясь на развитии отдельных глубинных зон в озере, обратимся к распределению степени этого развития в различных глубинных зонах, то отложив на оси ординат глубинные зоны, а на оси абсцисс—показатели развития объемов этих зон — мы получим в высшей степени характерную кривую, которую условимся называть кривою вертикального распределения показателей зонального развития объемов озера.

Если озеро будет характеризоваться такой кривой распределения зональных показателей развития объемов, которая вся расположена в пределах положительных или отрицательных величин, то мы условимся считать, что такое озеро характеризуется абсолютно положительным или отрицательным вертикальным развитием объемов.

Несравненно чаще, однако, случаи, когда кривая эта расположена как в положительном, так и в отрицательном значении величин—(рис. 29) в таком случае мы условимся считать, что озеро характеризуется

относительно положительным или отрицательным развитием вертикальных объемов — в зависимости от того будет ли алгебраическая сумма показателей всех глубинных зон положительною или отрицательною величиною.

Указанная алгебраическая сумма зональных показателей развития объема — будет в то же время выражать собою показатель общаго развития объема о котором мы уже говорили выше.

Здесь же нам хотелось лишь подчеркнуть, что из изложенного выше очевидно, что одинаковыми показателями развития объема могут быть характеризованы озера, имеющие весьма различные развития объемов отдельных глубинных зон, т. к. для этого требуется лишь, чтобы алгебраические суммы этих величин были равны между собою; но из этого же следует, что показатель общаго развития объема озера — отнюдь не характеризует собою вертикального распределения объемов озера — оно дается лишь показателем развития объемов отдельных глубинных зон.

## Рельеф дна.

Водные массы озера имеют ту особенность, что поверхность их с одной стороны всегда ограничена плоскостью. Строго говоря (см. выше) это тоже не плоскость, но для громадного большинства озер, имеющих, сравнительно, небольшие размеры, мы можем принять эту часть поверхности водных масс озера за плоскость. Ввиду этого, при характеристике поверхности водных масс озера, — условимся вовсе не говорить о поверхности, обращенной к атмосфере, а иметь ввиду исключительно ту поверхность, которой ограничиваются водные массы озера со стороны дна, т. е. рельеф дна озера.

Под рельефом дна разумеется форма той или иной расчлененности поверхности, которую представляет собою дно озера.

Если мы видели значительные затруднения при характеристике очертания озера в плоскости, то, само собою разумеется, что характеристика той формы, которую имеет поверхность, изменяющаяся и в третьем измерении еще сложнее.

Рельеф дна озера может быть охарактеризован, с одной стороны, величинами, выражающими площадь дна озера, как в абсолютных размерах, так и в ее отношении к другим величинам, характеризующим озеро и к поверхности дна для озера нормальной, а с другой стороны, рельеф характеризуется углами, которые образует поверхность дна к поверхности озера, и, наконец, можно характеризовать рельеф сопоставлением различных величин, характеризующих протя-

жение и очертание поверхности отдельных глубинных зон озера. По аналогии с предыдущим, мы и в отношении величин рельефа дна будем придерживаться при их изложении, группировки на величины абсолютные, величины отношений и величины развития.

## I. Величины абсолютные.

Мы рассмотрим их сперва для озера в целом, а затем перейдем к изложению некоторых особенностей при характеристике участков горизонтального и вертикального расчленения.

### а) Озеро в целом.

Здесь мы будем различать следующие величины:

(68) Площадь дна озера. Обычно, при морфометрической характеристике озер, эта величина вовсе игнорируется и делается допущение, что площадь дна равна площади поверхности водоема.

Это допущение делается при исчислении площадей находящихся между изобатами и в ряде других случаев, когда о площади дна судят по проекции ее на поверхность озера.

Правда, что практически, площадь дна в обычных случаях мало чем отличается от площади водоема, т. к. даже максимальная глубина по линейному своему протяжению во много раз меньше линейного протяжения поверхности озера, но, с одной стороны, это не всегда так, а с другой стороны, при рассмотрении специального вопроса о рельефе дна—площадь дна ни в коем случае не может быть заменена площадью поверхности.

Для определения площади дна озер применяется обычно следующая формула, предложенная Penck'ом (32):

$$P\left(1+\frac{F_m^2}{2}\right),$$

где P—площадь озера, $F_m$—средний угол уклона, выраженный в $^0/_0{}^0/_0$.

Есть еще и графический способ определения площади дна, изложенный Шокальским (47а); при этом графическом способе поступают следующим образом: „Каждый поперечный профиль озера вверху ограничен прямой линией (поверхность воды), а внизу ломаной—изображающей дно озера вдоль данного профиля. Очевидно, что если измерить циркулем каждую часть этой ломаной линии и отложить на прямой их длину, то последняя для каждого профиля будет разная.

Теперь, на отдельном листе бумаги, проводятся прямые линии в расстоянии друг от друга, равном расстоянию между соседними профилями. На одной прямой откладывают линию, равную общей длине дна вдоль одного из профилей, а на другой, против нее, линию, равную общей длине дна вдоль второго профиля и т. д. Концы этих, в большинстве случаев, неравных линий соединяют прямыми; тогда получится трапеция. Измерив площадь всех таких трапеций и сложив их, получаем общую площадь дна озера. Для крайних отрезов вместо трапеций получаются многоугольники, потому что по внешнюю сторону крайних профилей остается принять за линию дна только очертание берега этой части озера" (Шокальский 47а стр. 96—97) (см. рис. 30).

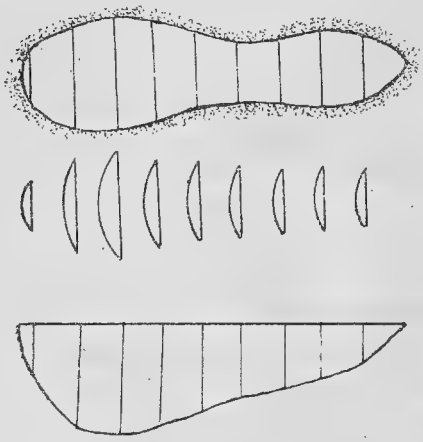

Рис. 30.

Вычисленная указанным графическим путем площадь дна—оказывается вычисленной со значительно меньшей точностью, чем площадь поверхности воды озера, а потому сравнение этих величин встречает затруднение. Вычисление площади дна оттого меньшей точности, что при нем соединяются концы линий, соответствующих профилям прямыми линиями, между тем как береговая линия в промежутках между профилями может обладать значительною извилистостью, при чем при вычислении площади поверхности воды озера все эти особенности береговой линии принимаются во внимание.

Мы предлагаем, ввиду этого, следующим образом видоизменить метод, рекомендуемый Ю. М. Шокальским: На тех же линиях соответствующих профилей через озеро, на которых откладывается длина дна на профиле (рис. 31), следует отложить также длину линии, соответствующую поверхности воды на профиле (a, a′, a″ . . .). Соединив все конечные точки этих отрезов, соответствующих площади поверхности озера, мы могли бы по очерченной этой линией площади вычислить площадь поверхности воды озера, так же приближенно, как вычисляем этим методом и площадь дна. Однако, мы вычислим лишь площадь, заключающуюся между линией a, a′, a″ . . . и линией b, b′, b″ . . . Эта площадь будет разность между площадью поверхности воды озера и площадью его дна. Зная площадь поверхности воды озера, вычисленную наиболее точно методом, указанным в ином месте, мы можем прибавить к ней величину разности между площадью дна и площадью

поверхности воды озера, вычисленную указанным выше способом и таким образом получить размер площади дна озера.

Указанный способ дает результаты, соответствующие абсолютным значениям площади дна, конечно, лишь в том случае, если для вычисления мы берем профили, на которых вертикальный и горизонтальный

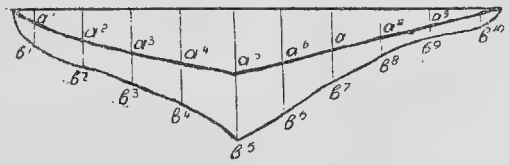

Рис. 31.

масштаб одинаковы, а это обстоятельство сильно затрудняет работу при озерах с незначительными глубинами. Приходится в таком случае брать крупные масштабы для профилей, чтобы иметь возможность отложить и отдельно измерить профиль дна в одинаковых масштабах.

Увеличение вертикального масштаба профиля хотя бы на всегда постоянную величину по отношению к масштабу горизонтальному— не может быть применено для целей сравнительной лимнологии, так

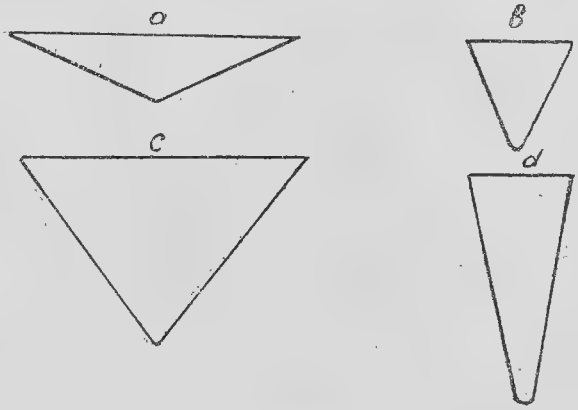


Рис. 32.

как дает несравнимые величины. Это видно без всяких пояснений из рис. 32, на котором фиг. a и b даны при одном масштабе и длина дна на их профилях равна друг другу, а фиг. c и d даны при удвоенном вертикальном масштабе, благодаря которому длина дна на профиле фиг. c превосходит соответствующую величину на фиг. d.

(69) Средний угол уклона дна. Углом уклона, вообще, называется тот угол, под которым площадь дна озера ориентирована к поверхности озера. Угол этот выражается либо в тангенсе угла (это реже)—либо в отношении изменения вертикального положения к длине участка, на котором это изменение произошло (собственно-уклон), т. е. если на расстоянии 1.000 *м* произошло изменение в вертикальном направлении на 10 *м*, то уклон будет равен $\frac{10}{1.000}$, при чем, выражается он всегда на 1.000 линейных единиц, т. е. будет в нашем примере 0,01. Средним углом уклона будет называться тот угол, который образует в среднем все дно озера по отношению к поверхности озера. Вычисление этого среднего угла ведется обыкновенно по формуле, предложенной одновременно Finstervalder'ом (12) и Peucker'ом (34), а именно:

$$tg\alpha = \frac{h}{P}\left(L_1 + L_2 + L_3 + \ldots + \frac{L_0}{2}\right)$$

где $L_1$, $L_2$ и т. д.—длины изобат, P — площадь озера, h — вертикальное расстояние между изобатами.

Еще Halbfass (20) обратил внимание на то, что средний угол уклона не стоит ни в какой зависимости ни от максимальной, ни от средней глубины озера. Форель же (13) указывает, что при наличии изрезанности берега—величина среднего уклона теряет свое значение.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

По отношению к морфологически обособленным и, вообще, характерным участком озера могут быть употреблены те же методы характеристики рельефа их дна абсолютными величинами, которые были указаны для озера в целом — лишь в отношении уклона дна следует подчеркнуть, что наиболее ценные в лимнологическом отношении величины уклона дна получаются именно для отдельных участков горизонтального расчленения. Мы будем эти углы уклона называть:

(70) Районные углы уклона. Они вычисляются для отдельных районов озера, представляющих в физико-географическом отношении нечто единое, напр., район дельты, впадающей в озеро реки; район обрывистых берегов и т. д. Для таких районов угол уклона определяется по той же формуле, которая нами приведена для вычисления среднего угла уклона, при чем используется все имеющиеся для этого района профили.

Возможно, впрочем, для особенно характерных в каком-либо отношении мест, дать величины, относящиеся к какому-нибудь одному профилю; тогда получим:

(71) Профильный уклон дна (Neigungswinkel). Эта величина характеризует тот уклон, под которым в отдельных частях озера дно опускается в глубину. Она же характеризует подводные террасы и прочие особенности рельефа на профиле. Для определения уклона дна пользуются профилем данного участка дна, при чем самый уклон определяется по формуле:

$$\frac{(h - h') \cdot 1000}{f},$$

где $h'$ — глубина места на профиле в начале того участка профиля, уклон которого определяется, $h$ — глубина места профиля в конце того участка, уклон которого определяется, и $f$ — расстояние между этими глубинами в горизонтальном направлении. Формула дает нам выражение уклона pro mille.

---

Переходя теперь к величинам, характеризующим рельеф дна горизонтальных участков, определенным образом ориентированным к берегам озера—обратимся к изотелическим зонам и будем здесь различать следующие величины:

(72) Площадь дна изотелических зон озера. Эти площади можно вычислить, конечно, лишь с некоторым приближением, графическим методом Шокальского—выделив на профилях, по которым велось вычисление площади дна озера, зоны, на равных и постоянных для всех профилей расстояниях от обоих берегов озера. Рис. 33 делает ясным способ проведения, при чем возможен случай, что в середине профиля остался участок не равный ни одному из предыдущих (он может быть больше каждого из них, но непременно меньше удвоенных размеров ширины зоны)—его нужно отнести к следующей изотелической зоне. Нанеся графически на отрезках прямых (см. выше) длины участков дна каждой зоны и длины площади поверхности озера соответствующих зон (из двух отрезков, по одному у каждого берега) и проделав так для всех профилей, по которым определялись площади дна, мы легко можем определить площадь дна каждой изотелической зоны. Мы можем нанести на график горизонтальное распределение площади дна всех изотелических зон озера по оси ординат графика—нанеся зоны, а по оси абсцисс—площади их дна.

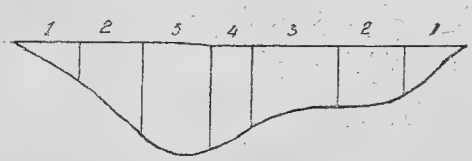

Рис. 33.

(73) Уклоны дна изотелических зон. Уклон этот может быть определен по вышеуказанной формуле из ряда отдельных уклонов, характеризующих отдельные места на характерных профилях. Получив целый ряд величин для уклона данной изотелической зоны, мы можем охарактеризовать каждую такую зону a) максимальным, b) минимальным и c) средним уклоном.

Полученные величины для каждой изотелической зоны могут быть для всего озера даны в виде графика, по оси ординат которого отложены изотелические зоны, а по оси абсцисс—уклоны изотелических зон. Такая кривая будет очень характерна для рельефа дна озера.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Абсолютные величины, которыми характеризуется рельеф дна озера в целом, могут быть применены и к характеристике рельефа дна отдельных глубинных зон.

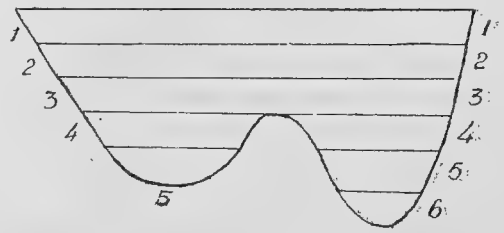


Рис. 34.

(74) Площадь дна глубинных зон озера. Вычисляется площадь дна озера для отдельных глубинных зон при помощи графического способа, аналогичного тому, который мы применяли для определения площади дна для озера в целом.

Если мы каждый профиль озера, который употребляли для вычисления площади дна озера в целом, разделим на определенные условные глубинные зоны, затем, нанесем на отрезках прямых, расположенных на расстояниях профилей друг от друга—длины тех участков профилей, которые приходятся на данную глубинную зону; эти участки всегда складываются из двух отрезов, а иногда, напр., на профиле рис. 34, и из нескольких отрезов: затем соединяют полученные отрезки прямыми линиями и, определив площадь образовавшейся таким образом фигуры—получим площадь дна данной глубинной зоны.

(75) Уклон дна глубинных зон озера. Вычисляется по формуле:

$$F_n = \frac{h \cdot (L_n + L_{n+1}) \cdot 1000}{2 \cdot P_n}$$

где h — вертикальное расстояние между изобатами (высота глубинных зон), $L_n + L_{n+1}$ — длина двух соседних изобат, ограничивающих глубинную зону, $F_n$—уклон n-ой глубинной зоны, $P_n$—площадь между двумя соседними изобатами, т. е. площадь изобатной зоны. Все полученные величины могут быть выражены в виде кривой, на оси ординат которой отложены расстояния между изобатами, а на оси абсцисс—величины уклонов отдельных глубинных зон. Полученные величины, однако, не представляют большого лимнологического значения; вот что пишет по этому поводу Форель (13): „Ввиду большого различия природы дна в отдельных областях озера, я не думаю, чтобы эти числа, кроме некоторых исключительных случаев, могли дать полезные результаты".

## 2. Величины отношений.

Сюда можно отнести следующие величины, характеризующие рельеф дна, сперва озера в целом, а затем и участков по горизонтальному и вертикальному расчленению.

### а) Озеро в целом.

(76) Показатель избытка поверхности дна. Отношение площади дна к площади поверхности озера и будет определять собою степень избытка поверхности дна; выражение в виде разности и в $^0/_0{}^0/_0$ к площади поверхности, оно даст показатель избытка площади дна, который может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(Q - P) \cdot 1000}{P}$$

где Q — площадь дна, P — площадь поверхности озера.

Показатели, выражающие избытки площади дна являются почти всегда очень малыми величинами, а потому выражаются pro mille.

Пока в нашем распоряжении нет значительного количества фактического материала по абсолютному развитию площади дна озер, мы не станем устанавливать различные группы в зависимости от разных значений показателей этого развития, а равно не станем пока останавливаться и на отношении этих двух показателей друг к другу.

Показатели избытка площади дна могут быть определены как для озера в целом, так, равным образом, и для отдельных его участков. В этом отношении морфологически обособленные участки будут не столь характерны, как те участки, которые могут быть выделены на основании характерного рельефа дна озера, напр., участки, в которых

находятся наибольшие впадины, участки с наиболее пересеченным рельефом,—и в противоположность им—участки с ровным дном и т. д. При вычислении этих участков необходимо руководствоваться общими физико-географическими соображениями.

Границы этих участков желательно проводить прямыми линиями, при построении же профилей нужно принимать, что у такой границы участка—дно вертикально опускается на глубину данного места.

Таким образом, мы можем для отдельных участков горизонтального расчленения озера получить частные показатели избытка площади их дна.

Если из всех изобат, проведенных в озере выбрать такое их число, которое, с одной стороны, равно было бы числу изотел—проведенных в озере или числу изотел кратному какому-нибудь числу, а с другой стороны, чтобы эти изобаты находились на равных расстояниях друг от друга по вертикали,—то можно получить ряд весьма важных для характеристики рельефа дна величин. Для этого лишь нужно, чтобы число сравниваемых изобат и изотел было бы одинаковым и чтобы и те и другие проходили через равные промежутки изотел в горизонтальном направлении. Из отношений разных величин, характеризующих изобаты и изотелы с одной стороны, и изотелические зоны и глубинные зоны с другой стороны—мы получаем величины, характеризующие рельеф дна озера.

Мы будем среди этих величин различать:

(77) Показатели сложности рельефа дна озера Показатели эти выражают отношение между протяжениями изобат и изотел. Это отношение может быть определено в отдельности для каждой сравниваемой изобаты и изотелы (когда и те и другие в равном числе); это отношение, выраженное в виде разности и в $^0/_0{}^0/_0$ к протяжению изотел и будет показателем сложности рельефа дна. Он может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(L_n - L^i_n) \,.\, 100}{L^i_n}$$

где $L_n$ — длина n-ой изобаты; $L^i_n$ — длина n-ой изотелы.

Показатель этот равен нулю если сравниваемые величины равны между собою, и он может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Если такие частные показатели будут определены для всех сравниваемых величин, то можно полученные частные показатели изобразить в виде кривой, на оси ординат которой откладываются глубины и расстояния от берега (каждой изобате соответствуют определенные изотелы)—на оси же абсцисс—значения показателей.

Если взять алгебраическую сумму частных показателей сложности рельефа, то получим величину весьма характерную для рельефа дна озера, которую назовем общим показателем сложности рельефа дна озера. Показатель этот может иметь отрицательное, нулевое или положительное значение, при чем, каждое положительное или отрицательное значение может быть абсолютно или относительно таковым, в зависимости от этого, присутствовали ли или нет среди частных показателей, из которых они получились, величины противуположного знака.

Возможно взять еще целый ряд других отношений между изотелическими и глубинными зонами озера: отношение площадей зон изотелических и глубинных, их объемов и т. д. Все эти отношения могут быть выражены в виде особых показателей, характеризующих сложность рельефа озера, как по отдельным частям, когда берутся отношения отдельных зон,—так и озера в целом, когда берется алгебраическая сумма этих показателей.

### b) Участки горизонтального и вертикального расчленения озера.

Отдельные морфологически обособленные и характерные участки озера могут быть охарактеризованы теми величинами, которые приведены нами для озера в целом.

При незначительных отличиях в величинах площади дна по отношению к площади поверхности озера величины отношения площади дна данного участка горизонтального расчленения к площади дна озера в целом—дадут величины близкие к соответствующим отношениям площадей поверхности озер, почему мы их и не выделяем пока особо. То же самое касается и участков вертикального расчленения озера.

Характерную величину для выяснения распределения объемов водных масс озера представляет:

(78) Показатель значимости средней глубины изотелических зон озера. В главе о величинах протяжения мы рассмотрели среднюю глубину каждой изотелической зоны озера. Если выразить отношение этой величины к средней глубине озера в целом и притом в $^0/_{00}$ к средней глубине озера, то мы и будем иметь показатель значимости средней глубины изотелической зоны озера. Он может быть вычислен по формуле:

$$\frac{H^i_m \cdot 100}{H_m}$$

где $H^i_m$ — средняя глубина n-ой изотелической зоны, $H_m$—средняя глубина озера.

Если для всех зон будут получены показатели их можно выразить в виде кривой, на оси ординат которой отложим изотелические зоны, на оси абсцисс—значения показателей.

## 3. Величины развития.

По причинам, о которых уже было сказано выше—нормальным рельефом дна каждого озера—будет рельеф основного конуса озера, имеющего при данной площади и наибольшей глубине озера наименьшую возможную площадь дна.

При одинаковой абсолютной и относительной площади дна озера, а равно при одинаковом показателе ее избытка—форма рельефа дна озера может быть весьма различна.

Для пояснения я приведу лишь два сечения озера (рис. 34a и b), у которых как площадь дна, так и показатель избытка будут одинаковы,

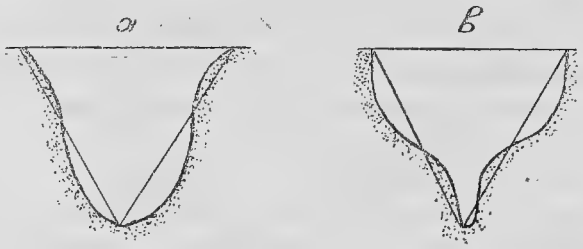


Рис. 35.

а между тем рельеф дна совершенно различен, а потому необходимым является сравнить существующий рельеф дна с нормальным для данного озера.

Величина развития рельефа дна может быть дана для озера в целом, а также для отдельных участков горизонтального расчленения рассмотрим их в отдельности.

### а) Озеро в целом.

Сюда могут быть отнесены следующие величины:

(79) Показатель общего развития поверхности дна озера. Показатель этот выражает отношение поверхности дна озера к поверхности основного конуса озера.

Абсолютные величины поверхности дна и поверхности основного конуса чрезвычайно мало отличаются от поверхности озера, а потому показатели абсолютного развития указанных величин малы.

Формула боковой поверхности основного конуса может быть выражена так:

$$q = \frac{C}{2}\sqrt{\frac{R}{2} + H_{mx}}$$

где C — длина окружности круга равновеликого площади озера, R — радиус того же круга, $H_{mx}$—наибольшая глубина озера, а q — площадь боковой поверхности основного конуса.

В результате отношение площади дна озера к площади боковой поверхности основного конуса, выраженное в виде разности и в $^0/_0{}^0/_0$ к площади конуса—и будет называться показателем общего развития поверхности озера; этот показатель может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(Q - q) \,.\, 100}{q},$$

где Q — площадь дна озера, а q — площадь боковой поверхности основного конуса озера.

Показатель этот есть всегда положительная величина, т. к. боковая поверхность основного конуса есть наименьшая из возможных при данной глубине и площади озера.

Показатель же выразит степень превышения поверхности дна озера, по отношению к минимальной поверхности.

0 $^0/_0$ развития поверхности дна озера будет в том случае, когда его дно представит правильный конус. 100$^0/_0$ развития—в том случае, когда размеры поверхности дна озера будут в 2 раза превышать возможную минимальную поверхность, все же остальные величины располагаются в промежутке, но я считаю пока преждевременным установление каких-либо этапов общего развития поверхности дна озера.

Рассмотренный показатель дает нам лишь общее представление о развитии поверхности дна, суммарное для всего озера, но не дает нам картины распределения этого развития в вертикальном и горизонтальном направлениях.

(80) Развитие среднего уклона дна озера. В случае нормального рельефа дна, средний уклон дна, под которым находится ребро основного конуса озера к его основанию—определяется по формуле:

$$F_n = \frac{(H_{mx}) \,.\, 1000}{R}$$

где $H_{mx}$ — наибольшая глубина озера, а R — радиус круга равновеликого площади озера.

Отношение полученного нами среднего уклона дна для озера к этому нормальному для озера уклону и будет развитием среднего уклона

дна озера. Если мы выразим это отношение в виде разности в $^0/_0{}^0/_0$ к нормальному уклону—то получим показатель; его можно вычислить по формуле:

$$\frac{(F_m - F^n) \cdot 100}{F^n}$$

где $F_m$ — средний уклон озера, $F^n$ — нормальный уклон дна озера.

Значения показателей могут быть положительными и отрицательными.

### b) Участки горизонтального расчленения озера.

При характеристике этих участков мы можем, прежде всего, в отношении морфологически обособленных участков применить величины, которыми характевизуется рельеф дна озера в целом. Далее, можно или охарактеризовать сумму обособленных участков, и полученные величины сравнить с получившимися для озера в целом или, с теми которые получились для части озера, соответствующей его остову.

Наконец, в некоторых случаях, бывает важно охарактеризовать величинами развития поверхность на отдельных характерных по своему рельефу участков озера.

Методы работ во всех указанных случаях естественно те же, что и для озера в целом, при чем в тех случаях, когда имеется искусственная граница участка озера—площадь вертикальной плоскости, служащей этой границей в счет площади дна не идет.

Далее, мы переходим к участкам, определенным образом ориентированным по отношению к берегам озера—я имею в виду изотелические зоны—величины характеризующие развитие рельефа дна для каждого из этих участков дна в отдельности—помогут нам расчленить развитие рельефа дна озера в целом в горизонтальном направлении. Итак мы будем различать:

(81) Показатель развития поверхности дна изотелических зон озера. Отношение площади дна данной изотелической зоны к площади боковой поверхности соответствующей ей зоны усеченного конуса, выраженное в виде разности и определенное в $^0/_{00}{}^0/_{00}$ к поверхности дна данной изотелической зоны озера; вычисление можно вести по формуле:

$$\frac{(Q^i_n - q^i_n) \cdot 1000}{q^i_n}$$

где $Q^i_n$ — площадь дна n-ой изотелической зоны; $q^i_n$ — площадь соответствующей ей n-ой изотелической зоны основного конуса.

Этот показатель характеризует собою отношение поверхности дна озера соответствующее определенным изотелическим зонам озера— к поверхности основного конуса соответствующих изотелических зон.

Боковая поверхность этих зон усеченных конусов в основном конусе озера определяется формулой:

$$\frac{C^i_n + C_{n+1}}{2} \cdot \sqrt{h_n^2 + \left(\frac{R}{n+1} - \frac{R}{n}\right)^2}$$

где $C^i_n$ и $C_{n+1}$ — длины окружности n и n + 1 изотел данного конуса, $h_n$ расстояние между n и n + 1-ой изотелическими зонами основного конуса R — радиус равновелико площади озера круга.

Значения показателей могут получить не только положительные, но, в исключительных случаях, также и отрицательные.

Установление градаций значений этих показателей еще преждевременно.

Зная показатель развития поверхности дна каждой изотелической зоны, можно построить кривую горизонтального распределения рассматриваемых величин в озере. Отложив на его ординате изотелические зоны, а на оси абсцисс—соответствующие им значения показателей развития получим эту весьма характерную кривую.

Алгебраическая сумма показателей развития площади дна изотелических зон озера всегда будет положительной величиной, но может быть абсолютно или относительно положительной в зависимости от того имеются или нет отрицательные значения показателей изотелических зон озера. Эта сумма будет уже рассмотренным выше показателем общего развития поверхности дна озера.

(82) Показатель развития уклона изотелических зон озера. Он выражает отношение между уклоном данной изотелической зоны и нормальным уклоном данной зоны озера; показатель, выражающий это отношение в виде разности в $^0/_0{}^0/_0$ к нормальному уклону может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(F^i_n - F^n) \cdot 100}{F^n}$$

где $F^i_n$ — уклон n-ой изотелической зоны, а $F_n$ — нормальный уклон.

Показатели всех изотелических зон озера можно изобразить в виде кривой, где по оси абсцисс—величины показателей и по оси ординат—расположения между изотелами.

Алгебраическая сумма этих показателей даст показатель развития среднего уклона дна озера.

### c) Участки вертикального расчленения озера.

Отдельные глубинные зоны могут быть охарактеризованы рядом величин развития; сюда принадлежат:

(83) Показатель развития поверхности дна глубинных зон озера. Если мы хотим определить различие в развитии поверхности дна на разных глубинных зонах озера, то для этого нужно определить отношение между размерами поверхности дна озера на данной глубинной зоне к размерам поверхности основного конуса для той же глубинной зоны.

Размер боковой поверхности усеченного конуса являющийся площадью дна n-ой глубинной зоны основного конуса озера определяется по формуле:

$$\frac{C^k{}_n + C^k{}_{n+1}}{2} \cdot \sqrt{h^2{}_n + \left(\frac{R}{n+1} - \frac{R}{n}\right)^2}$$

где $C^k{}_n$ и $C^k{}_{n+1}$ — длины n-ой и n + 1-ой изобаты основного конуса озера, $h_n$ — расстояние между n и n + 1ой озобатными плоскостями, R — радиус круга равновеликого площади озера.

Зная для каждой глубинной зоны озера площади его дна $Q^1$, $Q^2$, $Q^3$ и т. д., и, с другой стороны, площади соответствующих зон основного конуса озера—$q_1{}^k$, $q_2{}^k$, $q_3{}^k$ и т. д. легко определить показатель развития зоны, выразив его в $^0/_0{}^0/_0$ к площади глубинной зоны основного конуса по формуле:

$$\frac{(Q. - q_n)\ 100}{q_n}$$

Здесь необходимо отметить, что показатель развития поверхности дна глубинных зон не всегда будет величиной положительной—он может быть и отрицательным в тех случаях, если уклон дна данной зоны больше среднего уклона данного озера.

В настоящее время еще рано давать какие-либо нормы для рассматриваемых показателей.

Получив для каждой глубинной зоны озера свой показатель развития поверхности его дна, мы можем дать для озера в целом кривую вертикального распределения развития площади дна озера.

Отложив на оси ординат глубинные зоны, а на оси абсцисс—значения показателей, мы получим кривую, которой я затрудняюсь дать определенное название, но которая несомненно имеет большое лимнологическое значение ввиду того, что ею определяется степень взаимодействия между дном озера и его водными массами, с одной

стороны, а с другой стороны, именно этой кривой определяется степень пересеченности рельефа дна озера на разных глубинах.

Алгебраическая сумма зональных показателей развития дна отдельных глубинных зон, как мы уже говорили выше, будет всегда положительной величиной, но в зависимости от того, имеются-ли среди рассматриваемых показателей только положительные величины или есть также и отрицательные, --мы можем говорить об абсолютном или относительном положительном значении уже выше рассмотренного показателя общего развития поверхности дна озера, т. к. именно им и будет алгебраическая сумма зональных показателей.

(84) Показатель развития уклона глубинных зон озера. Он выражает отношение между уклоном данной глубинной зоны и нормальным уклоном дна; выраженный в виде разности и в $^0/_0{}^0/_0$ к нормальному уклона озера—этот показатель может быть вычислен по формуле:

$$\frac{(F_n - F^n).\,100}{F^n}$$

где $F_n$ — уклон n-ой глубинной зоны, $F^n$ — нормальный уклон дна.

Показатели всех глубинных зон озера могут быть выражены в виде кривой, а их алгебраическая сумма даст показатель развития среднего уклона дна озера уже рассмотренный выше.

## IV. Категории морфометрических величин.

Все разнообразные морфометрические величины, рассмотренные нами подробно в предыдущем, могут быть разбиты с точки зрения их лимнологического значения для сравнительно - морфометрических исследований на несколько категорий.

Из них первая категория включает величины наиболее характерные и важные в лимнологическом отношении; этими величинами желательно характеризовать всякое озеро, по которому имеется достаточно основных данных.

Ко второй категории относятся величины, которые являются более детальной морфометрической характеристикой озера, требующей однако, иногда и более сложных вычислений; эти величины желательно применять лишь при более специальных сравнительно морфометрических работах.

Наконец, к третьей категории относится ряд таких величин, которые имеют задачей специальную и детальную морфометрическую характеристику какого-либо озера, главным образом, в целях сравнительного изучения отдельных его участков.

Что касается разделения всех вышеуказанных морфометрических величин на три категории, (табл. I—IV в прилож. I), то в помещаемой ниже сводке всех морфометрических величин нами предлагаемых, жирным шрифтом набраны названия тех из них, которые мы относим к первой категории, курсивом набраны названия относящихся ко второй категории величин и обычным шрифтом—названия величин третьей категории.

В таблицах указаны отдельно величины, характеризующие озеро в целом, величины участков горизонтального и вертикального расчленения озера. Кроме того, против каждой величины указывается ее условное обозначение или формула, по которой она вычисляется. Для удобства пользования, все условные обозначения приводятся еще в виде отдельной таблицы в алфавитном порядке, которая помещена в приложении II.

## V. Практические указания к производству морфометрических вычислений.

При большом количестве морфометрических величин, которыми мы выше охарактеризовали морфологию озера, чрезвычайно важно установить известную последовательность действий при производстве самих вычислений, которая привела бы к возможно большей экономии сил и времени, Ниже нами дается ряд указаний в этом направлении.

### а) Карта, нужная для морфометрического изучения озера.

Если карта озера, морфометрию которого мы изучаем уже напечатана и выбора карт у нас нет, то, конечно, приходится удовлетвориться тем, что есть и приспособлять, насколько это окажется возможным, указанные ниже приемы к данной карте. Если же у нас есть возможность выбора разных карт для водоема, а тем более, если мы сами составляем карту для озера, то мы можем это сделать так, чтобы карта была лучше всего приспособлена для целей морфометрического изучения озера.

Желательно, но не обязательно, чтобы карта была вычерчена на ватманской бумаге. Размер карты наиболее удобный для морфометрического изучения—не должен превосходить квадратного метра—в связи с этим масштаб карты, понятно, может быть различным. Озера небольшие нет основания вычерчивать в очень крупном масштабе и

можно вполне, чтобы размеры карты для маленьких озер (большая ось—около 2 *км*) не превосходила 2—3 *кв. дцм.*

Масштаб карт должен быть обязательно десятичным.

Помимо тщательного нанесения контуров озера, а также его островов, со всеми изгибами береговой линии, какие только допускает масштаб,—желательно, чтобы был обозначен также характер берегов (болото, скалы, пологий, крутой и т. д.).

На карте должны быть непременно нанесены все точки промеров, сделанных на озере, причем возле каждой точки должна быть проставлена найденная на этом месте глубина, самих же линий промеров, соединяющих точки наносить на карту не надо.

Все глубины, показанные для озера должны быть отнесены к определенному уровню озера, по возможности, связанному с постоянным репером на берегу озера. Глубина должна быть выражена в метрах от поверхности озера до дна, а не в высотах над уровнем моря или от репера.

Цифры глубин должны быть проставлены мелко черной тушью.

На карте должны быть проведены изобаты, через каждые 2 или кратное этому числу метров (см. стр. 16). При проведении изобат следует отнюдь не математически интерполировать соседние глубинные данные, а руководствоваться физико-географическими соображениями в пределах, указанных фактически наблюденными глубинами с одной стороны, и характером берега с—другой стороны.

Линии изобат нужно провести черной тушью. Степень точности морфометрического изучения озера во многом зависит от числа измерений глубин, а вследствие этого—и от точности проведения изобат.

Карта должна быть строго ориентирована по странам света и на нее должна быть, по возможности, нанесена градусная сетка.

Когда на карту нанесены все вышеуказанные данные—она готова для морфометрических вычислений. При этом, однако, следует иметь в виду, что экземпляр карты, по которому будут производиться морфометрические вычисления—вследствие ряда линий, которые на него будут нанесены—уже не будет годиться для иных целей, например, расцветки глубин или других; зато, если морфометрии озера имеется в виду отвести в работе достаточное место, помещение в печати такой карты со всеми сделанными на ней построениями, служащими для морфометрической характеристики—является желательным.

### b) Очередность работ при морфометрическом изучении озер.

С точки зрения техники исполнения, все морфометрические величины, выше нами разобранные, могут быть разделены на две группы: к первой принадлежат такие величины, которые необходимо определить

непосредственно на карте, производя на ней определенные измерения. Эти то „непосредственные“—как мы их можем назвать, величины и нужно в первую очередь определить для каждого озера.

Ко второй группе величин могут быть отнесены такие, для получения которых достаточно одних вычислений на основании величин непосредственных: это группа „вычисленных“ величин, может быть получена уже во вторую очередь; для нее уже не нужно никаких измерений и непосредственной работы с картой.

Конечно, лимнологическое значение морфометрических величин отнюдь не определяется их отнесением в группу непосредственных или вычисленных.

Для экономии времени, четкости работы и удобства сравнения мы предлагаем вести все записи при работах по морфометрии в таблицах. Образец таблиц для записи непосредственных морфометрических величин дан в приложении II. В них вписываются все величины, которые получаются в результате непосредственных измерений, произведенных на карте. Аналогичную таблицу легко составить себе и для величин, отнесенных нами в группу вычисленных.

Отбросив все вспомогательные величины, мы берем для перенесения в окончательную таблицу морфометрических величин озера—лишь те из них, которыми мы характеризуем морфологию озера.

## I. Группа непосредственных величин.

Очередность работ при вычислении этой группы морфометрических величин, требует большой предварительной продуманности, для достижения наибольшей экономии сил и времени.

Цифровой материал, полученный при этих вычислениях, можно вписывать непосредственно в таблицы приложения. Мы рекомендуем вести все определения в следующей последовательности.

1) Определить радиус наибольшего вписанного в озеро круга (ядра). Если на прозрачной кальке или специальной палетке нанести ряд концентрических окружностей разных диаметров, то легко, перемещая эту кальку по карте, найти то место озера, в которое может быть вписан круг наибольшего диаметра. Когда место это найдено, следует отметить на карте сперва уколом циркуля через кальку, а затем точкой тушью—центр этой окружности, около которого поставить буквы—„С. В.“ (центр ядра). Кроме того, необходимо отметить на контуре озера те точки, к которым прикасается этот круг. Самого же круга проводить не следует, т. к. графическое его построение не нужно для дальнейших вычислений. Линейный размер радиуса ядра вписывают в таблицу (см. приложене II).

2) Определить радиус наименьшего описанного вокруг озера круга (района). Такой круг определяется той же палеткой с концентрическими кругами, которой определялось ядро озера. Когда такой круг установлен, радиус его отмечается и вписывается в таблицу вспомогательных величин; положение центра района отмечается на карте в виде точки, при которой следует написать две буквы: „C. R."—(центр района). Точки очертания озера, в которых район к ним прикасается—следует также отметить короткими линиями, перпендикулярными к окружности круга.

3) Отчленить в озере все морфологически обособленные его участки. Для этого поступают способом, указанным выше, при описании и определении различных категорий обособленных участков. Необходимо, однако, следить за тем, чтобы простые изгибы берега не были бы отчленены, а, с другой стороны, чтобы хорда участков не превышала радиуса ядра. Все линии хорд необходимо провести на карте, возле каждой хорды нужно поставить ее порядковое обозначение — римской нумерацией, причем самую цифру нужно ставить не на поверхности озера, а возле них на суше; эти номера будут в то же время порядковые номера обособленных участков, которые нужны будут для дальнейших вычислений. Длины хорд, обособленных участков, которые определяются при самом их проведении по линейке—заносятся в соответствующие графы таблицы (см. приложение II).

4) Расчленить озеро на характерные участки. Такое расчленение нужно бывает далеко не для всех озер; оно может производиться на основании ряда лимнологическим признаков, обнаруживающих черты обособления в разных участках озера. Такие характерные участки желательно отграничивать как друг от друга, так и от остальной части озера, по возможности, прямыми линиями.

5) Провести изотелы озера. Для этого соединяют карандашными линиями центр ядра с точками касания ядра с берегом.

Эти радиусы ядра делят на 10 частей каждый; затем, растворяют ножки циркуля на расстояние равное 0,1 длины радиуса ядра и ведя острой ножкой циркуля по линии берега и держа другую ножку с карандашом перпендикулярно к направлению берега проводят первую изотелу [1]).

Когда обведена вокруг всего очертания озера первая изотела, проводят таким же образом вторую, ведя острой ножкой циркуля по первой изотеле и наблюдая за тем, чтобы вторая ножка циркуля,

---

[1]) Специальные технические указания для работ с простейшими инструментами можно найти в работе Шокальского (47-а).

снабженная карандашом была всегда перпендикулярна к направлению первой изотелы; за 2-ой проводят 3-ью изотелу и т. д. Легко может оказаться, что в суженных местах озера изотелы сходятся настолько близко, что следующие изотелы уже находят друг на друга, тогда в озере приходится провести несколько замкнутых систем изотел.

Карандашные изотелы необходимо потом обвести тушью (но не черной, ею обведены изобаты), а иного цвета, скажем зеленою (в печати—пунктир) а карандашную линию, соединяющую центр ядра с точкою его касания с берегом—стереть.

6) Определить длину изотелических линий. Обведя курвиметром каждую из изотелических линий по 2—3 раза—вычисляют среднюю арифметическую из полученных величин—и ее вписывают в таблицу для каждой изотелы. Если нет курвиметра измеряют длину циркулем.

7) Определить длину изобат и береговой линии. Поступают так же, как при определении длины изотел.

8) Определить площадь озера и его участков. Для получения более точных определений площади озера, процесс этот необходимо повторить дважды; прежде всего определяется площадь планиметром, при этом, ввиду того, что погрешность определения будет тем больше, чем больше отдельных участков, обведенных планиметром—желательно, если карта озера позволяет,—определить его площадь одним обводом планиметра; если же этого нельзя, то желательно разбить озеро на участки возможно большей площади, которые и определяются уже планиметром.

Беря среднее из 2—3 данных, полученных таким образом планиметром—получают площадь озера в целом, с возможно большею точностью. Если нет планиметра—площадь определяют палеткой.

В зависимости от того, какого рода категориями величин будет характеризоваться морфология озера — методы определения площади отдельных участков озера будут различны; так:

а) при характеристике озера величинами лишь первой категории, независимо от уже произведенного определения площади озера в целом, определяют площадь всех тех участков, которые заключены между каждыми двумя соседними изобатами озера; определяют эту площадь обводя и пространства ограниченные соседними изобатами планиметром и получают отдельную величину площади для каждой глубинной зоны озера; величины эти и вписываются в таблицу непосредственных величин. Кроме того, отдельно определяется площадь всех обособленных участков озера, а также характерных его участков. Все эти величины вписываются также в таблицу непосредственных величин.

b) при характеристике озера величинами первой и второй категории дополнительно производится определение площадей изотелических зон, т. е. участков между соседними линиями изотел.

c) при характеристике озера величинами всех трех категорий — поступают так же, как и при характеристике величинами первой и второй категорий, но определяют еще дополнительно площади изоцептрических зон, т. е. площади между изотцептрическими линиями поверхности озера.

9) Определить объем озера и его участков. Для получения величины объема озера в целом, каким бы методом его ни определяли [1])—достаточно знать лишь те непосредственные величины, которые уже нами выше определены, а потому здесь мы лишь хотим обратить внимание на то обстоятельство, что методы измерения объема озера, как суммы объемов отдельных участков вертикального расчленения озера, которыми пользуются обычно,—являются более точными, а потому ими, во всяком случае, необходимо бывает пользоваться на ряду с величиной объема озера в целом, полученной как сумма объемов участков горизонтального расчленения озера.

a) Если характеризовать озеро величинами только первой категории, то озеро вообще не характеризуется объемами участков горизонтального расчленения.

b) Если характеризовать озеро величинами первой и второй категории, то необходимо бывает вычислить объем участников горизонтального расчленения озера.

Объем изотелических зон вычисляется умножением средней глубины зоны (см. стр. 37) на площадь соответствующей зоны.

Что же касается объемов иных участков горизонтального расчленения, то оно ведется тем же способом.

c) Если характеризовать озеро всеми тремя категориями величин, никаких дальнейших определений объемов озера не требуется.

10) Провести изоцентрические линии. Длину радиуса района (она уже известна) делят на 10 частей и радиусами в 0,1; 0,2; 0,3 и т. д. длины радиуса района описывают из центра района концентрические окружности. Самые линии этих окружностей нужно проводить лишь в той их части, которая проходит по площади озера до их пересечения с береговой линией озера. Эти линии обводят простой тушью (в печати—прерывчатая линия). Для определения длины изо-

---

[1]) См. о методах определения объема озера работы Маркова (26) и Шокальского (47-а).

центрических линий курвиметром обводят каждую из изоцентрических линий и складывая величины, относящиеся к окружности одного и того же радиуса, заносят полученные величины в таблицу непосредственных величин.

11) Провести большую и малую оси озера. Ось большая, как наибольшее протяжение озера на карте, проводится приемами, указанными уже выше; ось малая выражает протяжение озера в направлении перпендикулярном большой оси. Длина большой и малой оси получается прикладыванием к ним линейки с делениями, а направление большой оси определяется приложением транспортира.

12) Провести медиану озера. Когда площадь и объем всех замкнутых участков озера определены—определяют положение центров целого ряда вписанных в озеро кругов, которые должны входить во все его плеса и главные заливы; самые окружности вписанных кругов при этом проводить не нужно, самое же определение положения центров производится при помощи палетки, как это было указано при отыскании центра ядра и района. Когда на карту нанесено значительное количество центров—соединяют их отрезками прямых линий, которые проводят черной тушью. Каждый отрезок прямой линии, из которой состоит медиана измеряется особо и длина его вписывается в таблицу непосредственных вечичин, причем, каждый отрезок снабжается своим №, проставляемым и на карте—возле линии; для каждого отрезка определяется, кроме того, ориентировка его по странам света. Ориентировку эту производят по румбам, причем каждый из четырех румбов делится на 90°; приложением к отрезку транспортиру определяется в градусах его направление.

Приложив линейку с делениями к концам медианы, определяют длину прямой, стягивающей ее концы, что нужно будет для определения извилистости медианы.

13) Провести линии протяжения. Делят малую ось озера на 10 равных частей, проводят через точки деления линии параллельные направлению большой оси, но лишь по площади озера; это будут линии большого протяжения озера; длина каждой из этих линий определяется особо и вписывается в таблицу непосредственных определений. На большой оси откладывают отрезки равные 0,1 длины малой оси и через точки сечений проводят в направлении параллельном малой оси отрезки—однако лишь по площади озера; это будут линии малого протяжения озера. Длину каждого такого отрезка определяют особо и вписывают таковые в таблицу. Если линия протяжения состоит из нескольких отрезков пересекающих разные заливы и плесы озера,—ее длина определяется как сумма отрезков, составляющих продолжение один другого.

14) Провести линию длины озера. Линия эта, состоящая из отрезков прямых, а местами и из отрезков кривых, проводится в соответствии с определением этой величины (см. выше) иногда очень сложно. Длину ее лучше всего измерить курвиметром; длину отдельных отрезков прямых можно измерить непосредственно линейкой; длина каждого отрезка прямой вписывается особо в таблицу, вместе с направлением данного отрезка. Кроме того, соединяют линейкой начало и конец линии длины и определяют длину прямой линии, соединяющей эти концы. Эта величина будет нужна для определения извилистости линии длины.

15) Произвести измерение обособленных участков озера. а) Провести медианы участков, измерить их длину и определить направление каждого отрезка прямой. Определение произвести так же, как и для медианы озера в целом (см. выше);

б) провести линию углубленности участков (см. об этом при определении линии углубления); определить ее длину;

в) провести большую ось участков (см. об этом выше); определить длину и направление большой оси;

г) провести линию длины участков—там, где она не заменена линией углубленности участка; определить ее длину.

16) Выяснить направление береговой линии озера Для этого вписывают в озеро многоугольник, характеризующий все главные направления береговой линии озера. Измеряют длину каждой стороны многоугольника и отмечают ее направление.

17) Определить площадь дна озера в целом. Для этого пользуются либо формулой Пенка, либо графическим методом, подробно изложенным на стр. 82—83.

18) Определить площадь дна глубинных зон озера. Метод определения изложен на стр. 86.

19) Определить площадь дна изотелических зон озера. Метод определения изложен на стр. 85.

## 2. Группы вычисленных величин.

Громадное большинство величин, относящихся к этой группе, вычисляются на основании непосредственных величин, по формулам, подробно рассмотренным уже выше и никаких пояснений не требуют.

## Основная литература по морфометрии озер.


1. Berghaus, Heinrich. Physikalischer Atlas. 1. Band. Gotha. 1845.

2. Berghaus, Heinrich. Die erste Elementen der Erdbeschreibung für den Gebrauch des Schülers in den unteren Lehrklassen auf Cymnasien etc, Berlin. 1830.

3. Бобрик, А. А. О вычислении развития береговой линии по методам Бергхауза и Нагеля. Изв. Русс. Геогр. О-ва Т. 52, 1916, стр. 1—33.

4. Бобрик, А. А. Об определении и измерении „извилистости" картографических линий и фигур. Изв. Русс. Геогр. Об-ва. Т. 52, 1916; стр. 34—50.

5. Бобрик, А. А. Об определении и математической характеристике форм поверхности и объемного простирания географических объемов на земле. Изв. Русс. Геогр. О-ва, Т. 56; 1924; Вып. 2; стр. 73—103.

6. Бобрик, А. А. Очерк геометрической морфологии суши и океана. Гельсингфорс. 1925 г.

7. Bothe, F. Ueber die Beziehungen zwischen Flächeninhalt und Grenzlänge der Länder. Peterm. Mitteil. 1863, p. 406—407.

8. Bothe, E. Flächeninhalt und Grenzlänge. Eine Erwiederug auf erhobene Bedenken. Peterm. Mitteil. Gotha 1864, p. 232.

9. Breusing. Bemerkung zu Günthers Vortrag. Verh. d. 11 Deutsch. Geographentages zu Halle. 1882, p. 146.

10. Drobisch, M. W. Ueber die mittlere Radien der Linien, Flächen und Körper. Ber. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig. Bd. X; 1858, p. 124—164.

11. Ehrenburg. Studien zur Messung des horizontalen Gliederung. Verh. mediz. Gephysik Gesellsch. Würzurg. 1891. Bd. XXV;

12. Finsterwalder. Ueber den mittleren Böschugswinkel und das wahre Areal einer topographischen Fläche, Sitzungsber. d mat.-physik. Klasse d. Klg. bayr. Akad. d Wissensch. 1890; Bd. XX; Hft 1.

13. Форель, Ф. А. Руководство по озероведению (Общая лимнология). Изд. Департ. Земледелия; перев. К. Александрова; СПБ. 1912.

14. Geistbeck. Die Seen der deutschen Alpen. Mitteil. d. Vereins für Erdkunde in Leipzig 1884; p. 1—56.

15. Grunert. Ueber die mittlere Entfernung einer Figur von einem Punkte oder über die sogenannte Entfernung des Ackers von Hofe. Greifswald. 1848.

16. Günther, S. Die Küstenentwicklug, ein mathematischer Beitrag zur vergleichenden Erdkunde. Grunerts Archiv d. Math. u. Phys. 1875; Bd. 57; p. 277—284.

17. Günther, S. Die wahre Definition des Begriffes „Küstenentwicklug". Verh. d. 11 Deutsch. Geographentages zu Halle. 1882; p. 141—146.

18. Günther, S. Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie Band. II Stuttgart. 1885.

19. Hahn. Bemerkungen über einige Aufgaben der Verkehrsgeographie und Staatenkunde. Zeitschr. f. wiss. Geographie, Bd. V.

20. Halbfass, W. Morphometrie des Genfersees. Zeitsch. d. Gesellsch. für Erdkunde in Berlin; Bd. 32; 1897, p. 218—243.

21. Keber. Flächeninhalt und Küstenlänge: ein stehender Missbrauch beim Vergleich derselben durch Zahlenangaben. Peterm. Mitt. Gotha. 1863, p. 309—310.

22. Keber. Flächeninhalt und Küstenlänge. Einwand gegen Bothes Vorschlag. Peterm. Mitteil. Gotha, 1864; p. 91—92.

23. Keber. Bemerkungen zu Günthers Vortrag, Vehr. d. 11 Deutsch. Geographentages zu Halle. 1882. p. 146.

24. Лебедев, В. Н. Воды юго-восточной Камчатки. Часть I; Озера. Труды Зоологич. Отдела Камчатской Экспед. Ф. П. Рябушинского; т. II М. 1915.

25. Marinelli, O. Area, profodità ed altri elementi dei principali laghi italiani. Rev. Geogr. Ital. Vol. 1; fasc. 9 et 10; II fasc. 1 et 2.

26. Марков, Е. О методах исследования озер. Методика лимнологии Часть I. СПБ. 1902.

27. Müllner. Die Seen des Salzkammergutes. Penk's Geogr. Abhandl. Wien; 1896; Bd. 1.

28. Nagel. Uber die Küstengestaltug der Erdteile, Heinr. Berhaus Annalen d. Erd, Volker und Staatenkunde. Berlin. Bd. XII; 1835, p. 490—497.

29. v. Prondzynski. Flächeninhalt nnd Küstenlänge. Erörterung und Vorschlag. Peterm. Mitt. Gotha. 1864; p. 92—93.

30. Reuschele. Kritische Miszellen zur Geographie. 1. Das Mass der Küstenentwicklung und Grenzentwicklungs Koeffizienten überhaupt. Zeitsch. der Gesellsch. für Erdkunde zu Berlin. 1869; Bd. IV; p. 193—199.

31. Krümmel, O. Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume; Leipzig. 1879.

32. Penck, A. Morphologie der Erdoberfläche. 1 und 2 Teil; Stuttgart; 1894.

33. Penck, A. Morphometrie des Bodensees. Jahrber. d. Geogr. Gesellsch. in München. München 1894; p. 113—155 mit 1 Tab.

34. Peucker. Der mittlere Neigungswinkel des Bodens. Mitteil. d. deutch und österr. Alpenvereins. 1890; p. 10.

35. Peucker. Beiträge zur orometrischen Methodenlehre. Breslau. 1890.

36. Peucker. Morphometrie der Koppenteiche. Wanderer im Riesengebirge. Hirschberg. 1896.

37. Philippson. Grundzüge d. allgemeinen Geographie. 11 Band. Morphologie. Leipzig; 1923.

37a. Резвой, П. Д. К характеристике морфологии озер для гидродиологических целей. Русск. Гидродиол. Журн. 1927; т. 7, стр. 5—12.

38. Ritter, K. Ueber geographische Stellung und horizontale Ausbreitung der Erdteile. Einleitung zur allgemeinen vergleichenden Geographie. 1832.

39. Ritter, E. Morphometrie du lac Majeur. Le Globe. Journ. géographique d. l. Soc. de Geographie de Gèneve. Vol. 35, Ser, 5.

40. Ritter, C. Ueber geographische Stellung und horizontale Ausbreitung der Erdteile. Vortrag von 14 Dec. 1826 Sammlung der Abhandlungen Ritters. Berlin. 1852 p. 103—128.

41. Ritter, G. Bemerkungen über Veranschaulichungsmittel räumlicher Verhälltnisse bei geographischen Darstellungen durch Form und Zahl. Vortr. von 17 Jan. 1828 Sammlung der Abhandlungen Ritters. Berlin. p. 129—150.

42. Ritter, C. Allgemeine Erdkunde. Vorlesungen an der Universität zu Berlin gehalten. Hgg. von H. A. Daniel. Berlin. 1862.

43. Rohrbach. Ueber mittlere Grenzabstande. Peterm. Mitteil, Gotha 1890.

44. Россолимо, Л. Морфометрия Косинских озер. Труды Косинской Биологической Станции. Вып. 2; 1925; стр. 3—15 с нем. рез. стр. 16—18 и 3 картами.

45. Schultze, C. Flächeninhalt und Küstenlänge. Notiz betr. ben Schumanschen Vorschlag. Peterm. Mitieil. Gotha. 1864; p. 92. Anm.

46. Schumann. Ueber die Beziehugen zwischen Flächeninhalt und Grenzlang der Länder. Peterm. Mitteil. Gotha. 1844. p. 406. Anm.

47. Steinhauser. Ueber die Beziehungen zwischen Flächeninchalt und Grenzlänge der Länder. Peterm. Mitteil. Gotha. 1863. p. 406. Anm.

47a. Шокальский, Ю. М. Наставление для съемки озер и исследования их в физико-географическом отношении. Инструкция для иссл. озер. Изд. Рус. Геогр. О-ва. СПБ. 1908.

48. Ule. Der Wurmsee. Wissensch. Veröffentl. Vereins f. Erdkunde in Leipzig. Bd. V; 1901, p. 26.

49. Wagner, H. Areal und mittlere Erhebung der Landflächen. Gerlands Beiträge zur Geophysik. 1895.

50. Zöppritz. Bemerkungen zu Günthers Vortrag. Verh. des 11 Deutschen Geographenages zu Halle. 1882. p. 146.

---

*Приложение I.*

## I. Величины, характеризующие протяжение озера.

| | ОЗЕРО В ЦЕЛОМ | | УЧАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | | УЧАСТКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Величины | Формулы | Величины | Формулы | Величины | Формулы |
| Величины абсолютные | **Большая ось озера** | $A$ | Длина линий углубленности обособленных участков | $d$ | **Длина линии n-ой изобаты** | $L_n$ |
| | **Малая ось озера** | $a$ | Ширина обособл. участка | $b_n$ | | |
| | **Длина озера** | $L$ | Длина большой оси n-го обособл. уч. | $A_n$ | | |
| | *Ширина озера* | $B$ | Длина медиан обособл. участков | $m$ | **Длина окружности круга равно великого площади очерченной n-ой изобатой** | $C^h_n$ |
| | *наибольшая* | $B_{mx}$ | *Длины изотелических линий озера* | $L^i$ | | |
| | *средняя* | $B_m$ | | | | |
| | *Линии большого протяжения* | $E$ | Длина n-ой изоцентрической линии | $C$ | | |
| | *Линии малого протяжения* | $e$ | Сумма длин изоцентрической линии озера | $L^c_s$ | | |
| | **Длина медианы** | $M$ | *Средняя глубина изотелической зоны* | $H^i_n$ | | |
| | **Длина береговой линии** | $L_0$ | | | | |
| | **Радиус равновеликого озеру круга** | $R$ | Длина хорды n-го обособл. участка | $C_{h\ n}$ | | |
| | **Радиус ядра** | $R^b$ | *Длина окружности круга равновеликого площади, очерченной изотелами* | $C^i_n$ | | |
| | **Радиус районов** | $R^r$ | | | | |
| | **Глубина озера** | $H$ | | | | |
| | **наибольшая** | $H_{mx}$ | Длина полной окружности, соответствующей n-ой изоцентрической линии | $C^c_n$ | | |
| | **средняя** | $H_m$ | | | | |
| | **Длина окружности равновеликого озеру круга** | $C$ | Радиус изоцентрических линий | $r^i_n$ | | |
| Величины направлений | **Географические координаты** | | **Показатели доминирующих направлений** | | | |
| | **Показатели направлений озера** | | | | | |
| | **Показатели направлений линии длины** | | | | | |
| | **Показатели направлений береговой линии** | | | | | |
| Величины развития | **Извилистость медианы озера** | $\frac{(M-0).\ 100}{0}$ | *Показатель развития изотел озера* | $\frac{(L^i_n - C^i_n).\ 100}{C^i_n}$ | *Показатель развития изобат озера* | $\frac{(L_n - C_n).\ 100}{C_n}$ |
| | **Извилистость линии длины озера** | $\frac{(L-0).\ 100}{0}$ | | | | |
| | **Показатель развития береговой линии озера** | $\frac{(L_0 - C).\ 100}{C}$ | | | | |

## II. Величины, характеризующие поверхность озера.

| | ОЗЕРО В ЦЕЛОМ | | УЧАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | | УЧАСТКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Величины | Формулы | Величины | Формулы | Величины | Формулы |
| Величины абсолютные | **Площадь водной поверхности озера** | $P$ | *Площадь обособленных участков* | $p$ | *Площадь между соседними изобатами озера* | $P_n$ |
| | **Площадь островов** | $P_{ins}$ | Сумма площадей обособл. участков | $p^s$ | | |
| | **Площадь района** | $P^r$ | Площадь остова озера | $p^r$ | | |
| | Площадь кольца, ограниченного n-ой и n + 1-ой изоцентр. линии | $F^r_n$ | Площадь изотелических зон озера | $P^i$ | | |
| | **Площадь ядра** | $F^b$ | Площадь изоцентрических зон озера | $P^c$ | | |
| | Площадь круга, имеющего окружность, равную длине берег. линии озера | $P^0$ | | | | |
| Величины отношений | *Показатель сжатия фигуры озера* | $\frac{(A - a).\ 100}{A}$ | *Показатель отчлененности обособл. участков* | $\frac{(b_n - Ch_n).\ 100}{b_n}$ | *Показатель значения глубинных зон озера* | $\frac{P_n.\ 100}{P}$ |
| | *Показатель сжатия формы озера* | $\frac{(E_s - e_s)\ 100}{E_s}$ | *Показатель углубленности участков* | $\frac{(d_n - Ch_n).\ 100}{d_n}$ | | |
| | Показатель отношения длины к средней ширине озера | $\frac{(l - B_m).\ 100}{B_m}$ | *Показатель площадной изотеличности озера* | $\frac{Pi_n.\ 100}{P}$ | | |
| | *Показатель относительной разветвленности озера* | $\frac{m_n.\ 100}{M}$ | Показатель линейной изотеличности озера | $\frac{L^c_n.\ 100}{Li_s}$ | | |
| | *Показатель абсолютной разветвленности озера* | $\frac{m_s.\ 100}{M}$ | Показатель площадной изоцентричности озера | $\frac{P^c_n.\ 100}{P}$ | | |
| | *Показатель расчлененности формы озера* | $\frac{(P - P_s).\ 100}{P_s}$ | *Отношение длины изотел внешних к длине изотел внутренних* | $\frac{L^i_n}{L^i_{n+1}}$ | | |
| | *Показатель горизонтальной деформации озера* | $\frac{(P^r - P^b).\ 100}{P}$ | | | | |
| Величина развития | **Показатель общего развития площади озера** | $\frac{P^0.\ 100}{P}$ | Показатель развития изоцентрических линий озера | $\frac{(C^e_n. - L^c_n)\ 100}{C^e_n}$ | | |
| | **Показатель максимального развития площади озера** | $\frac{(P - P^r).\ 100}{P}$ | Показатель развития изоцентрических площадей озера | $\frac{(P^r_n - P^c_n).\ 100}{P^r_n}$ | | |
| | **Показатель минимального развития площади озера** | $\frac{(P - P^b).\ 100}{P}$ | | | | |

## III. Величины, характеризующие объем озера.

| | ОЗЕРО В ЦЕЛОМ | | УЧАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | | УЧАСТКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Величины | Формулы | Величины | Формулы | Величины | Формулы |
| Величины абсолютные | **Объем озера в целом** | $V$ | *Объем обособленных участков* | $V^n$ | **Объем глубинных зон озера** | $V_n$ |
| | | | *Объем суммы обособленных участков* | $V_s$ | | |
| | | | *Объем остова озера* | $V^b$ | | |
| | | | *Объем изотелических зон озера* | $V^i_n$ | | |
| Величины отношений | **Показатель абсолютной глубинности озера** | $\frac{R}{H_m}$ | *Показатель объемной разветвленности озера* | $\frac{v_s \cdot 100}{V}$ | **Гипсографические показатели глубинных зон** | $\frac{V_n \cdot 100}{V}$ |
| | **Показатель относительной глубинности озера** | $\frac{R}{H_{mx}}$ | Показатель значимости объемов изотелических зон озера | $\frac{V^i_n \cdot 100}{V}$ | | |
| | **Показатель емкости озера** | $\frac{H_m \cdot 100}{H_{mx}}$ | | | | |
| | **Показатель поверхностной доступности озера** | $\frac{H_m \cdot 100}{L_0}$ | | | | |
| | **Показатель глубинной доступности озера** | $\frac{H_m \cdot 100}{L_0}$ | | | | |
| | **Показатель мощности озера** | $\frac{H^2_m \cdot P}{L_0}$ | | | | |
| Величины развития | **Показатель развития объема озера** | $\frac{(V-W) \cdot 100}{W}$ | *Показатель развития изотелических зон озера* | $\frac{(V^i_n - W^i_n) \cdot 100}{W^i_n}$ | Показатель развития объемов глубинных зон | $\frac{(V_n - W_n) \cdot 100}{W_n}$ |

## IV. Величины, характеризующие дно озера.

| | ОЗЕРО В ЦЕЛОМ | | УЧАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ОЗЕРА | | УЧАСТКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ОЗЕРА | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Величины | Формулы | Величины | Формулы | Величины | Формулы |
| Величины абсолютные | Площадь дна озера . . . . . | $Q$ | *Уклон дна характерных участков* | $\frac{h - h'}{f}$ | Площадь дна глубинных зон озера . . | $Q_n$ |
| | **Средний угол уклона дна** . . . . . | $tg_\alpha = \frac{h}{p} . L_1 + L_2 + \ldots \frac{L_0}{2}$ | *Уклон дна изотелических зон* . . | | *Уклон дна глубинных зон озера* . . | $\frac{h (L_n + L_{n+1})}{2 P_n}$ |
| | Нормальный уклон дна . . . . . | $F_n$ | Площадь дна изотелических зон озера . . . . . | $Q^i_n$ | | |
| Величины отношений | Показатель избытка поверхности дна озера . . . . . | $\frac{(Q - P) . 1000}{P}$ | Показатель значимости средних глубин изотелических зон озера . . | $\frac{H_{i_m} . 100}{H_m}$ | | |
| | Показатель сложности рельефа дна озера . . . . . | $\frac{(L_n - L^i_n) . 100}{L^i_n}$ | | | | |
| Величины развития | Показатель общего развития площади дна озера. . . . . | $\frac{(Q - q) . 1000}{q}$ | Показатель развития поверхности дна изотелическихъ зон озера . . | $\frac{(Q^i_n - q^i_n) . 1000}{q^i_n}$ | Показатель развития поверхности дна глубинных зон озера . . . . | $\frac{(Q_n - q_n) . 100}{q_n}$ |
| | Показатель развития среднего уклона дна озера . . . . . | $\frac{(F_m - F_n) . 100}{F_n}$ | *Показатель развития уклона дна изотелических зон озера* . . . | $\frac{(F^i_n - F^n) 100}{F_n}$ | Показатель развития уклона дна глубинных зон озера . . . . . | $\frac{(F_n - F_n) . 100}{F_n}$ |

*Приложение II.*

## Непосредственные морфометрические величины.

| | | |
|---|---|---|
| 1. Географические координаты озера | Широта | |
| | Долгота от Гринвича | |
| 2. Глубина озера | Наибольшая | |
| | Средняя | |
| 3. Радиус ядра | | |
| 4. Радиус района | | |

5. Морфологически обособленные и характерные участки

| №№ | Длина хорды | Медиана | | Линия углубленн. | | Большая ось | | Линия длины | | Площадь | Глубина | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Длина | Направление | Длина | Направление | Длина | Направление | Длина | Направление | | Наиб. | Средн. |
| | | | | | | | | | | | | |

6. Длина изотелических линий.

| Расстояние от берега | Длина | Расстояние от берега | Длина | Расстояние от берега | Длина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

7. Длина изобат.

| Глубина | Длина | Глубина | Длина | Глубина | Длина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

8. Длина изоцентрических линий.

| Расстояние от центра | Длина | Расстояние от центра | Длина | Расстояние от центра | Длина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

9. Направление береговой линии.

| №№ участков | Длина | Направление | №№ участков | Длина | Направление |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

| | |
|---|---|
| 10. Площадь водной поверхности озера. | |

11. Площади островов.

| Название острова | Его площадь | Название острова | Его площадь | Название острова | Его плещадь |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

12. Площади изотелических зон.

| Расстояние от берега | Площадь зоны | Расстояние от берега | Площадь зоны | Расстояние от берега | Площадь зоны |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

13. Площади изоцентрических зон.

| Обозначение зоны | Площадь зоны | Обозначение зоны | Площадь зоны | Обозначение зоны | Площадь зоны |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

14. Площади глубинных зон.

| Обозначение зоны | Площадь зоны | Обозначение зоны | Площадь зоны | Обозначение зоны | Площадь зоны |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

15. Медиана

| №№ отрезков | Длина | Направление | №№ отрезков | Длина | Направление |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

16. Линия длины

| №№ отрезков | Длина | Направление | №№ отрезков | Длина | Направаение |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

17. Линии большего протяжения.

| №№ | Длина | №№ | Длина | №№ | Длина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

18. Линии меньшего протяжения.

| №№ | Длина | №№ | Длина | №№ | Длина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 19. | Большая ось озера. | Длина. | Направление. |
| 20. | Малая ось озера. | Длина. | Направление. |

21. Средняя глубина изотелических зон.

| Обозначение зоны | Средняя глубина | Обозначение зоны | Средняя глубина | Обозначение зоны | Средняя глубина |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| 22. | Площадь дна озера. | |

23. Площадь дна глубинных зон озера.

| Обозначение зоны | Площадь ее дна | Обозначение зоны | Площадь ее дна | Обозначение зоны | Площадь ее дна |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

24. Площадь дна изотелических зон озера.

| Обозначение зоны | Площадь ее дна | Обозначение зоны | Площадь ее дна | Обозначение зоны | Площадь ее дна |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

## Условные обозначения некоторых морфометрических величин.

$H_m$ — Глубина средняя озера.
$H_{mx}$ — Глубина максимальная озера.
$H^i_n$ — Глубина средняя n-ой изотелической зоны.
$h$ — Глубина между соседними изобатами.
$L_0$ — Длина береговой линии.
$L_n$ — Длина n-ой изобаты.
$O$ — Длина прямой соединяющей концы извилистой линии.
$L$ — Длина озера.
$l_n$ — Длина n-го участка озера.
$C^k_n$ — Длина n-ой изобаты основного конуса озера.
$L^i_n$ — Длина n-ой изотелической линии.
$Ci_n$ — Длина n-ой изотелической линии основного конуса озера.
$L^i_s$ — Сумма длин изотелических линий.
$C^c_n$ — Длина полной окружности n-ой изоцентрической линии.
$L^c_n$ — Длина n-ой изоцентрической линии.
$L^c_s$ — Сумма длин изоцентрических линий.
$d^n$ — Длина линии углубленности обособленного участка.
$C$ — Длина окружности равновеликого озеру круга.
$C_n$ — Длина окружности круга равновеликого n-ой изобате.
$Cr$ — Длина окружности района.
$C^b$ — Длина окружности ядра.
$C^h_n$ — Длина хорды n-го обособленного участка.
$E$ — Линия большого протяжения озера.
$E_{mx}$ — Линия большого протяжения озера—наибольшая.
$E_m$ — Линия большого протяжения озера—средняя.
$E_s$ — Сумма длин линий большого протяжения озера.
$E^t_n$ — Линия большого протяжения n-го обособленного участка.
$e$ — Линия малого протяжения озера.
$e_{mx}$ — Линия малого протяжения озера,—наибольшая.
$e_m$ — Линия малого протяжения озера,—средняя.
$m_m$ — Средняя из медиана обособл. участков озера.
$e_s$ — Сумма длин линий малого протяжения озера.
$e^t_n$ — Линия малого протяжения n-го обособленного участка.
$M$ — Медиана озера.
$m_n$ — Медиана n-го участка озера.
$m_s$ — Сумма медиан обособл. участков озера.
$V$ — Объем озера.
$V_n$ — Объем n-ой глубинной зоны озера.
$V_{in}$ — Объем n-ой изотелической зоны озера.

$v_n$ — Объем n-го обособленного участка озера.
$v_s$ — Сумма объемов обособленных участков озера.
$W$ — Объем основного конуса озера.
$W_n$ — Объем n-ой глубинной зоны основного конуса озера.
$W^i_n$ — Объем n-ой изотелической зоны основного конуса озера.
$A$ — Ось большая озера.
$A_n$ — Ось большая n-го обособленного участка.
$a$ — Ось малая озера.
$a_n$ — Ось малая n-го обособленного участка.
$P$ — Площадь водной поверхности озера.
$P^{in}_n$ — Площадь n-го о-ва.
$P^{iu}_s$ — Сумма площадей о-вов озера.
$p^i_n$ — Площадь между n-ой и n+1-ой изобатой озера.
$P^i_n$ — Площадь n-ой изотелической зоны озера.
$P^c_n$ — Площадь n-ой изоцентрической зоны озера.
$P2_n$ — Площадь кольца ограниченного n-ой и n+1-ой изоцентрической линией.
$P^0$ — Площадь круга имеющего окружность равную длине береговой линии озера.
$P^r$ — Площадь района.
$P^b$ — Площадь ядра.
$P_n$ — Площадь поверхности n-го обособленного участка озера.
$P_s$ — Сумма площадей поверхности обособленных участков озера.
$P_r$ — Площадь остова озера.
$Q$ — Площадь дна озера.
$Q_n$ — Площадь дна n-ой глубинной зоны озера.
$Q^i_n$ — Площадь дна n-ой изотелической зоны озера.
$q$ — Площадь боковой поверхности основного конуса озера.
$q_n$ — Площадь боковой поверхности n-ой глубинной зоны основного конуса озера.
$q^i_n$ — Площадь боковой поверхности n-ой изотелич. зоны основн. конуса.
$R$ — Радиус круга равновеликого площади озера.
$R^b$ — Радиус ядра.
$R^r$ — Радиус района.
$r^i_n$ — Радиус n-ой изоцентрической линии.
$F_m$ — Уклон дна озера—средний.
$F^n$ — Уклон дна озера—нормальный.
$F_n$ — Уклон дна n-го участка озера.
$F^i_n$ — Уклон дна n-ой изотелической зоны озера.
$B$ — Ширина озера.
$B_m$ — Ширина озера средняя.
$B_{mx}$ — Ширина озера наибольшая.
$B_{mn}$ — Ширина озера наименьшая.
$B_n$ — Ширина n-го обособленного участка.

# Methoden der morphometrischen Charakteristik der Seen.

G. I. Werestschagin.

Die Morphologie eines Seebeckens spiegelt sowohl die Entstehung des Sees ab, als auch eine Reihe von Faktoren, die auf ihn im Laufe seines Lebens eingewirkt haben; anderseits aber hängt mit dieser Morphologie eine Reihe von Eigenschaften der Seen selbst zusammen. Zweifellos kommt im mannigfashen Komplex der Merkmale, durch welche die Seen vom vergleichend-typologischen Standpunkt charakterisiert werden, der Morphologie der Seen eine wichtige Rolle zu. Bisher aber war das nicht der Fall, und von allen morphometrischen Grössen, d. h. den mathematischen Grössen, welche die Morphologie der Seen charakterisieren, wurde nur die maximale Tiefe, die Mitteltiefe und Länge der Uferlinie in Betracht genommen. Zweifellos liegt der Grund der ungenügenden Ausnutzung der Seenmorphometrie zur vergleichend-typologischen Charakteristik der Seen darin, dass die Prinzipien der Seenmorphometrie noch nicht ausgearbeitet sind. Daher stellte ich mir einen kritischen Ueberblick der existierenden Methoden der morphometrischen Charakteristik der Seen und die Ausarbeitung eines bestimmten Systems der Seenmorphometrie im Zusammenhang mit den Aufgaben der vergleichend-limnologischen Untersuchung zum Ziel. Wir stellen an alle morphologischen Grössen, durch welche der See charakterisiert wird, folgende Forderunden: 1) diese Grössen müssen so genau formuliert sein, dass jegliche Möglichkeit ihrer willkürlichen Deutung beseitigt wäre; 2) diese Grössen müssen für die Natur des Sees charakteristisch sein, d. h. sie müssen nicht nur eine bestimmte geometrische, sondern auch eine limnologische Bedeutung haben; 3) alle Grössen müssen in Einheiten ausgedrückt sein, die ihren Vergleich erleichtern, d. h. nach Möglichkeit in Relationen oder Prozenten. Alle morphometrischen Grössen können in folgende 3 Gruppen eingeteilt werden: 1) Absolute Grössen, welche als Resultat unmittelbarer Ausmessungen am See oder auf der Karte, oder der ausgeführten Ausrechnungen erhalten werden; sie werden durch eine bestimmte Zahl linearer, Flächen-oder Volumeinheiten ausgedrückt; 2) Grössen, welche die Orientierung einiger absoluter Grössen nach den Weltteilen ausdrücken und in der linearen Dimension der gegebenen Richtung ausgedrückt werden; 3) Grössen, welche die Relation absoluter Grössen zueinander ausdtücken, und 4) Grössen, die zum Ausdruck der Relation dienen, zwischen konkreten Bedeutungen absoluter Grössen oder ihrer Relationen zueinander, und den

Bedeutungen derselben Grössen oder ihren Relationen, welche als „normal" für den gegebenen See gelten. Diese Grössengruppe wollen wir als „Entwicklungsgrössen" bezeichnen. Im Zusammenhang damit steht die Frage der Aufstellung normaler Grössen für einen jeden konkreten See.

Solche normale Grössen müssen einerseits den limnologischen Forderungen entsprechen, namentlich dass so eine Grösse nicht nur reel in der Natur vorkommen muss, sondern sie muss auch das extreme Resultat bestimmter physiko-geographischer Prozesse sein, welche gleichmässig auf der ganzen Ausdehnung des Sees wirken, andererseits aber auch den geometrischer Forderungen — dass die Normalformen geometrisch möglichst einfach seien. Für alle Grössen, welche die Ausdehnung des Sees charakterisieren, werden diese Normalgrössen Längen gerader Linien sein. Wir werden sie mit der Länge der geraden Linien, welche die Enden der krummen und gebrochenen Linien vereinigen, durch die die Grösse der Ausdehnung des einzelnen Sees charakterisiert wird, vergleichen. Für abgeschlossene Umrisse, wie z. B. die Uferlinie, wird die Normallinie die Länge des Kreises sein, welcher eine Fläche einschliesst, die derjenigen des Sees gleicht. Für Grössen welche die Umrisse der Seeoberffäche charakterisieren, ist die Feststellung normaler Umrisse komplizierter, wir ziehen es aber aus verschiedenen Gründen vor, aus dem Kreise auszugehen, wobei wir eine maximale Normalfläche des Sees, welche dem kleinsten, um den See umschriebenen Kreis entspricht, und eine minimale Seefläche, welche der Fläche des grössten in den See hineingeschriebenen Kreises entspricht, und endlich einfach eine normale Fläche unterscheidet, die der eines Kreises gleicht, dessen Umfang der Länge der Uferlinie entspricht. Für den Umriss der Wassermengen des Sees oder für die Form des Seesbeckens nehmen wir als Normalform die Form eines Kegels an, dessen Grundfläche von einem Kreise gebildet ist, der der Seefläche gleicht, seine Höhe aber entspricht der grössten Tiefe des Sees. Mit diesem „Grundkegel des Sees" vergleichen wir wie das Volum der Wassermenge, so auch das Relief des Seebodens. Durch eine Reihe morphometrischer Crössen können wir den See charakterisieren, indem wir ihn als ein Ganzes betrachten, anderseits aber können wir durch den ganzen Komplex der morphometrischen Grössen einzelne Bezirke des Sees charakterisieren. Unter den Bezirken der horizontalen Gliederung des Sees unterscheiden wir erstens eine Gruppe morphologisch abgesonderter Bezirke, zu welchen die folgende Reihe gehört: Bucht, Golf und Teil des Sees („Pleso") wobei eine genaue Definition eines jeden von diesen Termini und die Art und Weise ihrer Absonderung vom See gegeben wird. Weiterhin sehen wir die Möglichkeit einer Absonderung einzelner, durch irgend welche Eigenschaften charakterisierter und eine gewisse Abgeschlossenheit besitzender Bezirke

des Sees vor. Weiterhin halten wir für charakteristisch eine Einteilung des Sees in Bezirke, die sich in gleichen Abständen vom Ufer befinden und durch Linien begrenzt sind, welche ebenfalls gleich weit vom Ufer abstehen und Isotelen genannt werden—das sind isotelische Zonen des Sees. Wenn wir endlich das Zentrum des kleinsten um den See umschriebenen Kreises für das Zentrum des Sees annehmen und den Radius dieses Kreises in eine gewisse Zahl gleicher Abschnitte einteilen so können wir durch diese Abschnitte eine Reihe von Kreislinien ziehen; Abschnitte dieser Umkreise, welche in gleichem Abstand vom Zentrum liegen, sind isozentrische Linien, welche isozentrische Zonen von einander abgrenzen. In wertikaler Richtung ist ebenfalls eine Einteilung des Sees in bestimmte Zonen möglich, welche von einander durch Flächen abgeteilt sind—das sind die Tiefenzonen des Sees, von denen jede durch ihre eigene Reihe von morphometrischen Grössen charakterisiert werden kann. Als Resultat einer speziellen Ausarbeitung der Frage der Seemorphometrie ist ein bestimmtes Grössensystem entstanden, welches in den Tabellen I—III der Beilage I angegeben ist.

---

К-ФССР
Государственная Публичная
БИБЛИОТЕКА
КАБИНЕТ
КРАЕВЕДЕНИЯ

# ОГЛАВЛЕНИЕ.


Стр.

Вступление . . . . . 3
I. Озеро и его участки . . . . . 8
II. Способы морфометрической характеристики озера . . . . . 16
III. Морфометрические величины . . . . . 22
А. Морфометрические величины, характеризующие протяжение озера 23
1. Величины абсолютные . . . . . 23
2. Величины ориентировки в пространстве . . . . . 38
3. Величины развития . . . . . 44
Б. Морфометрические величины характеризующие поверхность озера 47
1. Величины абсолютные . . . . . 48
2. Величины отношений . . . . . 50
3. Величины развития . . . . . 58
В. Морфометрические величины характеризующие массы воды озера 66
1. Величины абсолютные . . . . . 66
2. Величины отношений . . . . . 67
3. Величины развития . . . . . 73
1. Величины абсолютные . . . . . 81
2. Величины отношений . . . . . 87
3. Величины развития . . . . . 90
IV. Категории морфометрических величин . . . . . 95
V. Практические указания к производству морфометрических вычислений . . . . . 96
1. Группа непосредственных величин . . . . . 98
2. Группа вычисленных величин . . . . . 103
Основная литература по морфометрии озёр . . . . . 104
Приложение I. . . . . 106
Приложение II. Таблица непосредственных морфометрических величин . . . . . 107
Приложение III. Условные обозначения некоторых морфометрических величин . . . . . 110
Резюме на немецком языке . . . . . 112
Оглавление . . . . . 115

# TRAVAUX
## de l'Expédition Scientifique d'Olonetz.

### Publiés:

Partie I. Livraison 1—2. 1) **Werestchagin, G.** Le surgissement et la marche des travaux de l'Expédition Scientifique d'Olonetz en 1918—1923, p. 1—18 avec un résumé français; 2) **Werestchagin, G.** Programmes et méthodes des travaux de l'Expedition Scientifique d'Olonetz en 1918—1923, p. 21—58 avec un résumé français, Leningrad, 1924.

Partie III. Livraison 1. 1) **Werestchagin, G.** Sur le mouvement positif et négatif des rivages du las Ségozéro, p. 1—24 avec un rés. allem. 2) **Egoroff, E.** Les roches vertes de la région du partage des eaux du lac Onéga et de la mer Blanche, p. 27—58 avec un rés. français. Lgr. 1926.

Partie V. Livraison 1. **Wislouch, S.** et **Kolbe, R.** Materiaux sur la flore des Diatomées du lac d'Onega. Lgr., 1927, 76 pp. avec un résumé allemand.

Partie VI. Livraison 1. **Djakonow, A.** Sur la faune des Odonata du lac Sandal et de ses environs. Pgr., 1922, 34 pp. avec un résumé allemand.

Partie VI. Livraison 2. 1) **Rylov, W.** Sur la connaissanoe de la faune des Rotatoria de quelques bassins de la région Olonetz District Pudozh, p. 1—33 avec un résumé allemand. 2) **Domratschev, P.** Sur la Faune des Hydrachnides de quelques lacs du District Pudozh, p. 34—38 avec un résumé allemand. 3) **Abricosov, G.** Bryosoa, recueillies par l'Expedition Scientifique d'Olonetz, p. 39—45 avec un résumé anglais. Lgr., 1926.

Partie VI. Livraison 3. **Rylov, W.** Sur la connaissance de la faune des Eucopepoda de quelques bassins de la région d'Olonetz. Lgr., 1928, 44 pp. avec un résumé allemand.

Partie VI. Livraison 4. 1) **Martynov, A.** Les Trichoptères de l'Expédition scientifique d'Olonetz 1921—1923, p. 1—30 avec un résumé anglais. 2) **Puchkarev, N.** Sur l'age de quelques poissons du lac Sandal, p. 30—56 avec un résumé allemand. Lgr. 1928.

Partie VI. Livraison 5. **Lepnewa, S.** Les larves des Trichoptères de la région Olonetz. Leningrad, 1928, 126 pp. avec un résumé allemand.

Partie VI. Livraison 1. **Kalinovicz, B.** La riviére Souna et l'exploitation de l'énergie de ses eaux. Pgr., 1922, 41 pp. avec un résumé anglais.

Partie VIII. Livraison 2. **Poljak, S.** Les forêts et leur exploitation dans la région du lac Ségozero. Pertosawodsk, 1924, 17 pp. avec un résumé anglais.

Partie VIII. Livraison 3. 1) **Pallon, L.** Les poissons et les pêches du lac Ségosero. p. 3—35 avec un résumé allemand. 2) **Domratchev, P.** Les lacs de la région Transonégienne: Un aperçu sur les pêches, p. 37—86 avec un résumé allemand. 3) **Pallon, L.** Les poissons et les pêches des lacs de la région entre la mer Blanche et le lac Onega, p. 87—104 avec un résumé allemand.

---

# RAPPORTS
## de l'Expédition Scientifique d'Olonetz.

### Publiés:

**Weretstschagin, G.**, en collaboration avec les membres de l'Expedition. Rapport préliminaire des travaux de l'Expédition Scientifique d'Olonetz en 1920. Pgr., 41 pp.

**Werestschagin, G.**, en collaboration avec les membres de l'Expéditon Scientifique d'Olonetz en 1921. Pgr., 1923, 68 pp. avec un résumé allemand.

Editeur:
Institut Hydrologique.

Redacteur:
G. Werestschagin

3 р

Цена 1 р. 50 к.

# ТРУДЫ
## Олонецкой Научной Экспедиции.

### Напечатаны:

Часть I; вып. 1—2. **Верещагин, Г. Ю.** Возникновение и общий ход работ Олонецкой Научной Экспедиции в 1918—1923 г.г., стр. 1—18 с франц. резюме. **Верещагин, Г. Ю.** Программы и методы Олонецкой Научной Экспедиции в 1918—1923 г.г., стр. 21—58 с франц. резюме и табл. рис. Лгр., 1924.

Часть III; вып. 1. **Верещагин, Г. Ю.** Положительное и отрицательное движение береговой линии на озере Сегозере, стр. 1—24 с нем. резюме. **Егорова, Н. Е.** Зеленокаменные породы на Онего-Беломорском водоразделе, стр. 27—58 с англ. резюме. Лгр., 1926.

Часть V; вып. 1. **Вислоух, С. М.** и **Кольбе, Р.** Материалы по диатомовым Онежского и Лососинского озер. Пгр., 1927, 76 стр. с нем. резюме.

Часть VI; вып. 1. **Дьяконов, А. М.** К фауне Odonata озера Сандал и его окрестностей. Пгр., 1922, 34 стр. с нем. резюме.

Часть VI; вып. 2. **Рылов, В. М.** К познанию фауны Rotatoria некоторых водоемов Олонецкого края (Пудожск. уезд), стр. 1—33 с 1 таб. с нем. резюме. **Домрачев, П. Ф.** К фауне гидрахнид некоторых озер Пудожского уезда. стр. 34—38 с нем. резюме. **Абрикосов, Г. Г.** Мшанки, собранные Олонецкой Научной Экспедицией, стр. 39—45 с англ. резюме. Лгр., 1926.

Часть VI; вып. 3. **Рылов, В. М.** К познанию фауны Eucopepoda некоторых водоемов Олонецкого края. 44 стр. с нем. резюме. Лгр., 1927.

Часть VI; вып. 4. **Мартынов, А. В.** Trichoptera сбора Олонецкой Научной Экспедиции 1921—1023 г.г., стр. 1—30 с англ. резюме. **Пушкарев, Н. П.** О возрасте некоторых рыб оз. Сандал. Стр. 31—56 с нем. резюме. Лгр. 1928.

Часть VI; вып. 5. **С. Г. Лепнева.** Личинки ручейников Олонецкого края. Ленинград, 1928, 126 стр. с немецк. резюме.

Часть VIII; вып. 1. **Калинович, Б. Ю.** Река Суна и использование ее водных сил. Пгр., 1922, 44 стр. с англ. резюме.

Часть VIII; вып. 2. **Поляк, С. Т.** Леса и лесной промысел в рейоне Сегозера. Петрозаводск, 1924, 17 стр. с англ. резюме.

Часть VIII; вып. 3. **Паллон, Л. О.** Рыбы и рыбный промысел Сегозера. Стр. 3—35 с немецк. резюме. **Домрачев, П. Ф.** Озера Заонежья. Рыбохозяйственный очерк. Стр. 37—86 с немецк. резюме. **Паллон, Л. О.** Рыбы и рыбный промысел озер Онего-Беломорского водораздела. Стр. 87—104 с немецк. резюме.

# ОТЧЕТЫ
## Олонецкой Научной Экспедиции.

### Напечатаны:

**Г. Ю. Верещагин** и друг. Предварительный Отчет о работах Олонецкой Научной Экспедиции в 1920 году. Пгр., 1921, 41 стр.

**Г. Ю. Верещагин** и друг. Предварительный Отчет о работах Олонецкой Научной Экспедиции в 1921 году. Пгр., 1923, 68 стр. с нем. резюме.

**Издатель:**
Госуд. Гидролог. Институт.

Редактор:
**Г. Ю. Верещагин.**

Ленинградский Областлит № 52433. Тираж 750 экз.

Отделение Типографии „Профинтерн“ Коломенская ул., д. № 43.

a r

9.6

1985

Rep. 305
4 1-50
4-59